

LA GESTION DES LISIERS PAR LES GRANDS PRODUCTEURS PORCINS
AUX ÉTATS-UNIS : QUELLES SONT LES ALTERNATIVES DURABLES ?

Par
Justine Lacombe Bergeron

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable
en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Madame Caroline Halde

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Mai 2016

SOMMAIRE

Mots-clés : Lisier, production porcine, États-Unis, gestion durable, agriculture, azote, phosphore, qualité de l'eau, qualité de l'air, épandage.

Les dernières décennies ont apporté de grandes transformations à l'élevage porcin, qui est dorénavant considérée comme une agro-industrie composée de quelques grands joueurs à l'échelle internationale. Ces changements structurels ont contribué à l'apparition de problèmes associés à la quantité croissante de lisier produite par le secteur porcin aux États-Unis. Certaines préoccupations environnementales telles que les impacts sur les eaux de surface et souterraine, les effets sur la qualité de l'air et des sols sont notamment soulevées.

Par contre, lorsque la gestion et l'épandage du lisier sont faits de manière adéquate en prenant soin d'éviter toute forme de pollution, le lisier est un excellent engrais, riche en nutriments essentiels aux cultures. Actuellement, deux méthodes d'entreposage sont généralisées aux États-Unis : les fosses souterraines pour entreposer le lisier non-dilué et les lagunes ouvertes pour le lisier liquide. La majorité des producteurs valorisent toujours leur lisier par épandage aux champs.

Malheureusement, les méthodes actuelles de gestion utilisées ne sont pas jugées durables, ni du point de vue environnemental, social ou économique. Pourtant, plusieurs pratiques durables et efficaces existent et peuvent être introduites de façon relativement simple comme entre autres, l'implantation de bandes riveraines et l'épandage du lisier en post-levée avec des engrais verts. De plus, la valorisation énergétique grâce à un digesteur anaérobie est une option forte intéressante en raison des avantages économiques qui peuvent découler de son utilisation. Pour le moment, ces méthodes restent toujours très marginales. Certains freins sont possiblement responsables de l'inaction face aux problèmes environnementaux causés par le lisier. Entre autres, le fait que les producteurs porcins soient maintenant sous contrats avec des firmes intégratrices, le monopole de certaines compagnies agroalimentaire et les emplois précaires offerts par les industries.

Ainsi, après l'analyse de la gestion des lisiers aux États-Unis, plusieurs constats et recommandations ont pu être formulés : la nécessité de mettre en place une loi sur la qualité de l'air, les changements nécessaires au *Clean Water Act*, l'abolition des lagunes dans le but de mettre en place des méthodes plus durables telles les digesteurs anaérobies, la mise en place de moratoire pour les cheptels dans les régions avec des surplus d'éléments nutritifs dans le sol et enfin le retour graduel à une agriculture à plus petite échelle et locale.

REMERCIEMENTS

D'abord, je tiens à remercier chaleureusement ma directrice d'essai Caroline Halde qui a été pour moi, tout au long de la rédaction de ce travail, un support incontestable. Merci pour tes judicieux conseils, ton écoute, tes suggestions et tes corrections toujours rapides. Surtout merci de m'avoir encouragée à persévérer dans les moments de doute. La réalisation de cet essai fut une expérience très enrichissante et gratifiante et je n'aurais pu avoir une meilleure directrice pour réaliser ce chapitre important de ma vie.

Un immense merci aussi à mon mari Rhett qui m'a donné la motivation nécessaire pour venir à bout de ce travail. Merci d'avoir été là dans les hauts et les bas pendant ces longs mois et de m'avoir toujours supportée et encouragée, spécialement lors des nombreuses nuits blanches de rédaction ! Tu sais toujours comment me faire rire dans les moments les plus difficiles et ça m'a aidé à poursuivre jusqu'au bout. Un gros merci à mes amies Marie-Pier, Virginie, Ahmed, Mylène, Karina et Étienne qui ont toujours eu des petits mots d'encouragement quand j'en avais besoin et sur qui je peux toujours compter. Je vous aime!

Je tiens aussi à remercier Martin Chantigny d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, Jean-Paul Laforest et Diane Parent de l'Université Laval et Marc Ribaud du département de l'agriculture des États-Unis d'avoir pris le temps de répondre à mes questions et de me faire part de leur vision des choses malgré leur emploi de temps chargé. Ces contributions ont été des compléments d'une très grande importance pour une meilleure compréhension du sujet et de la dynamique qui l'entoure.

Merci à toutes les personnes impliquées dans le projet commun de rendre l'agriculture plus durable, c'est une cause admirable qui va bénéficier à toute la société !

Finalement, je désire remercier mon père Serge et ma mère Diane pour leur support continu tout au long de mes études. Un merci spécial à ma mère pour ses conseils de rédaction, pour le temps qu'elle a mis à relire et à corriger mon travail et bien sûr pour son amour inconditionnel. Merci de me transmettre de si belles valeurs et d'être un exemple positif dans ma vie.

TABLES DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX..... | v |
| LISTES DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLE | vi |
| INTRODUCTION | 1 |
| 1 MISE EN CONTEXTE..... | 4 |
| 1.1 Changements sctructurels du secteur porcin américain..... | 4 |
| 1.2 Contexte international..... | 7 |
| 2 RÈGLEMENTATION ET SUBVENTIONS | 10 |
| 2.1 Protection de la qualité de l'eau | 10 |
| 2.2 Protection de la qualité de l'air..... | 13 |
| 3 CARACTÉRISTIQUES DU LISIER | 16 |
| 4 CONTRAINTES À LA VALORISATION DU LISIER PAR ÉPANDAGE..... | 20 |
| 4.1 Valeur fertilisante variable | 20 |
| 4.2 Mauvaises pratiques d'épandage | 21 |
| 5 GESTION DU LISIER PAR LES GRANDS PRODUCTEURS PORCINS AMÉRICAINS.... | 23 |
| 5.1 Traitement et entreposage..... | 23 |
| 5.1.1 Lagunes..... | 24 |
| 5.1.2 Réservoirs | 26 |
| 5.2 Épandage et élimination | 27 |
| 5.3 Diminution des éléments nutritifs dans le lisier | 30 |
| 6 MÉTHODES EFFICACES ET DURABLES DE GESTION DES LISIERS | 32 |
| 6.1 Valorisation par épandage | 32 |
| 6.1.1 Bandes riveraines..... | 32 |
| 6.1.2 Modification de la période d'épandage | 36 |
| 6.1.3 Ajout d'engrais vert..... | 39 |
| 6.1.4 Enfouissement | 40 |
| 6.1.5 Stratification du lisier dans la fosse et fractionnement des apports | 41 |
| 6.1.6 Compostage | 43 |
| 6.2 Valorisation énergétique..... | 46 |
| 6.2.1 Digesteurs anaérobies en opération sur des fermes porcines..... | 47 |
| 6.2.2 Programmes aidant l'implantation de digesteurs anaérobies..... | 48 |
| 6.2.3 Types de digesteurs | 49 |
| 6.2.4 Effets environnementaux | 49 |
| 6.2.5 Contraintes de la valorisation énergétique..... | 51 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7 | FREINS À LA MISE EN PLACE DES MÉTHODES DURABLES | 53 |
| 7.1 | Monopole des grandes compagnies | 53 |
| 7.2 | Emplois..... | 56 |
| 7.3 | Autres freins à l’implantation de méthodes durables..... | 58 |
| 8 | CONSTATS..... | 61 |
| 9 | RECOMMANDATIONS..... | 66 |
| | CONCLUSION..... | 70 |
| | RÉFÉRENCES | 72 |
| | ANNEXE 1 - QUANTITÉ DE DIFFÉRENTS TYPES DE VIANDES PRODUITS PAR PAYS ... | 87 |
| | ANNEXE 2 - PRODUCTION ET CARACTÉRISTIQUES STANDARDS DES DÉJECTIONS ANIMALES..... | 88 |
| | ANNEXE 3 - COMPARAISON DU LISIER DE PORCS AVEC DIFFÉRENTES MÉTHODES D’ESTIMATION ET DE NOUVELLES TECHNOLOGIES ALIMENTAIRES | 89 |
| | ANNEXE 4 - DEVENIR DES EFFLUENTS PORCINS ET PERTES ASSOCIÉES À LEUR ENTREPOSAGE, MANUTENTION ET ÉPANDAGE | 90 |

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

| | | |
|-------------|--|----|
| Figure 1.1 | Densité de porcs dans chaque comté de chaque état des États-Unis | 6 |
| Figure 3.1 | Proportion des éléments nutritifs dans le lisier de porc | 17 |
| Figure 4.1 | Superficie en hectares de culture fertilisée avec de l'azote d'engrais commerciaux ou de lisier ayant reçu de mauvaises pratiques d'épandage en 2006 | 21 |
| Figure 5.1 | Principales méthodes d'entreposage de lisier de porc | 24 |
| Figure 5.2 | Différentes strates d'une lagune anaérobie utilisée pour entreposer le lisier de porc.. | 25 |
| Figure 5.3 | Eaux usées et lisier s'écoulant des bâtiments de confinement dans une lagune de terre. | 26 |
| Figure 5.4 | Deux méthodes d'épandage de lisier. | 28 |
| Figure 5.5 | Deux méthodes d'épandage de lisier liquide | 30 |
| Figure 7.1 | Les multiples raisons de mauvaise gestion du lisier | 58 |
| Tableau 3.1 | Concentration en éléments nutritifs du lisier dans différents types d'entreposage et à différentes profondeurs | 18 |
| Tableau 4.1 | Disponibilité d'éléments nutritifs du lisier de porc adulte en engraissement sous forme de boue appliquée en surface selon certains états | 20 |
| Tableau 6.1 | L'efficacité des différents types de végétation de bande riveraine à rendre des services écologiques | 34 |
| Tableau 6.2 | La perte annuelle moyenne de sol et le pourcentage de ruissellement après un épisode de pluie, par type de culture | 35 |
| Tableau 6.3 | Comparaison de l'efficacité environnementale de différentes méthodes de gestion de lisiers de porcs | 50 |
| Tableau 7.1 | La part du marché américain de porcs de cinq compagnies | 54 |

LISTES DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

| | |
|-------------------------------|--|
| BMP | <i>Best management practice</i> |
| CAA | <i>Clean Air Act</i> |
| CAFO | <i>Concentrated animal feeding operations</i> |
| CDAQ | Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec |
| CH ₄ | Méthane |
| C : N | Rapport carbone azote |
| CO ₂ | Dioxyde de carbone |
| COV | Composés organiques volatiles |
| CRAAQ | Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec |
| CWA | <i>Clean Water Act</i> |
| DBO | Demande biologique en oxygène |
| DCO | Demande chimique en oxygène |
| DMS | Distance minimal de séparation |
| EEC | Exploitation d'élevage en claustration |
| EEI | Exploitation d'élevage intensive |
| EPA | <i>Environmental Protection Agency</i> des États-Unis |
| EQIP | <i>Environmental Quality Incentives Program</i> |
| GES | Gaz à effet de serre |
| IRDA | Institut de recherche et de développement en agroenvironnement |
| K | Potassium |
| MAPAQ | Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec |
| MDDELCC | Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques du Québec |
| MES | Matières en suspension |
| N ₂ | Azote gazeux |
| NH ³ | Ammoniac |
| NH ₄ ⁺ | Ammonium |
| NO | Oxyde nitrique |
| NO ₃ ⁻ | Nitrate |
| N ₂ O | Oxyde nitreux |
| NPDES | <i>National Pollutant Discharge Elimination System</i> |
| OCDE | Organisation de Coopération et de Développement Économiques |
| P ₂ O ₅ | Pentoxyde de phosphore |

| | |
|-------|---|
| PGEN | Plan de gestion des éléments nutritifs |
| PGGEN | Plan de gestion global des éléments nutritifs |
| UPA | Union des producteurs agricoles du Québec |
| UNEP | United Nations Environmental Programme |
| USD | <i>United States Dollars</i> |
| USDA | <i>United States Department of Agriculture</i> |
| USGAO | <i>United States Government Accountabilities Office</i> |

INTRODUCTION

La pression humaine ne cesse de s'alourdir sur l'environnement et même si la terre est résiliente, un point de non-retour peut éventuellement se produire. La technologie et la science apportent des changements constants dans les pratiques, dont le but vise à augmenter la vitesse et la production, ce qui suppose une adaptation très rapide de l'humain et de l'environnement. Adaptation qui parfois ne se fait pas, pour diverses raisons, avec tous les risques et conséquences qu'il peut en découler. Cette situation peut être observée dans le domaine de l'agriculture, où de la machinerie de plus en plus puissante et informatisée a remplacé la main-d'œuvre d'autrefois. Malheureusement ces changements ne vont pas nécessairement de pair avec le développement durable, si nécessaire et urgent en raison des signaux d'alarme que la terre nous transmet. Toutes ces transformations des modes de production et de gestion dans le domaine agricole, faites au cours des dernières décennies, visent surtout l'amélioration de l'aspect économique et de la productivité aux dépens de l'environnemental et du côté social. Il en est de même dans le domaine de l'élevage et celui de la culture de végétaux : les pratiques sont passées de l'agriculture vivrière pour l'autoconsommation, à la production et à l'élevage intensif.

La production porcine, en particulier, a connu une hausse fulgurante. (Chemnitz et Becheva, 2014). Par contre, ce gain de productivité ne fait pas l'unanimité auprès de la population, surtout celle habitant des régions où la production porcine y est pratiquée intensément (Nicole, 2013). En effet, cette industrie est souvent pointée du doigt en raison des nuisances et des problèmes de pollution qu'elle génère. Le lisier en est le principal coupable, particulièrement, dans les régions où la concentration des unités de production est élevée (USGAO, 2008). D'autant plus qu'au sein de cette industrie valant plus de cent milliards de dollars aux États-Unis (Lowe et Gereffi, 2008), bien peu de producteurs se démarquent en termes de gestion durable des lisiers (USDA, 2015b). Ceci est peut-être expliqué par le fait que l'époque des petits producteurs locaux et indépendants est en voie d'être abolie dans ce pays. Les éleveurs font maintenant partis de grandes corporations cotées en bourse qui sont très loin de l'idée romantique que les gens de la ville se font de l'agriculture. De plus, la majorité des productions porcines sont dorénavant des exploitations d'élevage intensif (EEI), avec des densités élevées de porcs entassés dans des bâtiments de claustration. (Wise et Trist, 2010).

Parallèlement les activités agricoles constituent la principale source de l'atteinte à l'intégrité des écosystèmes aquatiques dans la plupart des États américains. Les activités d'élevage, dont entre autres la production porcine, sont vues comme de grands responsables de la pollution agricole, par leur génération de plus de 60 millions de tonnes de lisier chaque année aux États-Unis. Par ailleurs,

l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA, 2013) affirme que 70 % des rivières et 49 % des lacs des États-Unis sont affectés par la pollution produite par l'élevage animal. Ces opérations d'élevage industriel seraient responsables d'environ 20 % de la dégradation de la qualité de l'eau aux États-Unis. Ces problèmes sont profondément amplifiés dans les états de la *Corn Belt* où la culture du maïs et les élevages porcins ont envahis le paysage.

Si la tendance se poursuit à ce rythme, le temps n'arrangera pas les choses, compte tenu que la consommation de porc ne cesse d'augmenter à travers le monde (United Nations Environmental Programme (UNEP), 2013). De plus, la Chine importe une quantité croissante de porcs américains. Ce qui fait en sorte que la pression croissante qu'exerce cette activité dans certaines régions en surplus de lisiers, généralement avec une population plus défavorisée, est aggravée. Au point que plusieurs entreprises porcines manquent maintenant de superficies à proximité pour épandre le lisier qu'elles produisent et utilisent maintenant des champs de pulvérisation pour se libérer des énormes quantités de lisiers dont elles sont aux prises. (USGAO, 2008) Lorsque le lisier devient un déchet au lieu d'une ressource, la situation devient problématique du point de vue environnemental. Ainsi, en général les techniques actuelles de traitement du lisier de porc posent de plus en plus de problèmes à mesure que s'intensifie la production. (FAO, 2006).

Déjà que la production porcine en général est de plus en plus pointée du doigt par le public. Cette situation soulève désormais de grands questionnements quant aux méthodes utilisées pour valoriser, ou dans certain cas se débarrasser du lisier. Quels sont les règlements et programmes mis en place aux États-Unis pour protéger l'environnement contre les effets néfastes de pollution par le lisier ? Quelle priorité leur donne-t-on dans la législation ? Comment les procédures actuelles d'élevage affectent-elles le traitement des lisiers ? Quelles sont les méthodes durables de gestion des lisiers ? Existe-t-il des façons de gérer adéquatement une quantité industrielle de lisier d'un point de vue durable ou devons-nous en conclure que le développement durable n'est destiné qu'aux petites fermes ? Qui sont les acteurs principaux du milieu ? Quels intérêts motivent les personnes responsables de ce dossier ? Finalement, quels impacts ont-ils réellement sur l'environnement aux États-Unis ?

Cet essai, rédigé dans le cadre de l'obtention du titre de Maître en environnement, vise principalement à déterminer les méthodes durables de gestion de quantités industrielles de lisier de porcs aux États-Unis, à évaluer les freins à l'implantation de ces pratiques et de quelle manière la situation pourrait être améliorée.

La démarche principale de ce travail est guidée par six objectifs spécifiques. En premier lieu, de dresser le portrait de la production porcine aux États-Unis dans le but de comprendre le contexte qui entoure la gestion des lisiers. Par la suite, de présenter les propriétés du lisier de porc pour la valorisation par épandage et ses contraintes et de faire ressortir les impacts environnementaux, sociaux et économiques de la gestion des lisiers de porc aux États-Unis. Ensuite de présenter une synthèse des méthodes efficaces et durables des gestions des lisiers et leur potentiel à répondre aux défis de la production porcine américaine. Puis, de déterminer les freins à la mise en place de ces méthodes. En dernier lieu, d'émettre des constats sur la cohérence entre les connaissances scientifiques et les modes de gestion actuelles.

La première partie se penchera sur les changements structurels du secteur porcin américain et le contexte international : notions essentielles à une compréhension approfondie des méthodes de gestion des lisiers actuelles. Puis, un regard sera porté sur le cadre réglementaire. Finalement, les chapitres suivants sont structurés de manière à répondre aux objectifs spécifiques, mentionnés précédemment.

Les informations présentées dans ce document sont issues principalement de documents gouvernementaux et d'articles scientifiques. Des entrevues ont aussi été effectuées avec des professionnels du domaine de la recherche sur les lisiers au Québec et aux États-Unis, dans le but d'obtenir des informations spécifiques supplémentaires. Une des limites rencontrées au cours de la rédaction de cet essai est qu'un seul producteur porcin américain a répondu à mes invitations d'entrevues et de visites. Ceci est dû à des contrats très contraignants entre les compagnies intégratrices et les producteurs. Dans ces contrats, une clause spécifie que les producteurs ne sont pas en mesure de faire des entrevues sous peine de perdre leur contrat de production. Ceci fait suite à des entrevues données par des producteurs porcins qui ont été utilisées à mauvais escient dans le but de dénoncer le mauvais traitement animal ou des méthodes nuisant à l'environnement. Aussi, les consignes de biosécurité sur les fermes porcines industrielles empêchent quiconque ne travaillant pas sur la ferme de s'approcher du site, pour réduire le risque d'introduction de maladies dans les populations de porcs (Conner, 2001). La transmission de pathogènes est effectivement très rapide lorsque que plusieurs milliers de porcs sont abrités côte à côte.

1 MISE EN CONTEXTE

L'élevage de porcs peut être plus ou moins loin du concept de durabilité, dépendamment des méthodes utilisées. Le but de cette section est de définir dans quelle contexte se trouve l'industrie porcine aujourd'hui et sa transformation radicale depuis les dernières décennies. La gestion des lisier, qui est un enjeu de grande importance avec l'augmentation de la consommation de viande au niveau mondial, est directement liée à la manière dont l'élevage a évolué depuis les dernières décennies. En effet, comprendre les méthodes d'élevage aux États-Unis et la situation mondiale est essentiel à la compréhension des enjeux de gestion des éléments nutritifs du lisier.

1.1 Changements structurels du secteur porcin américain

Pendant une grande partie du 19^e et du 20^e siècle, le porc était la viande préférée aux États-Unis. Il était apprécié non seulement pour sa viande, mais pour le lard qui a été utilisé pour tout, de la cuisine, à l'huile de lampe à cuisson et la fabrication de bougies et de savon. Éventuellement, les américains ont perdu beaucoup de leur intérêt pour les graisses animales en faisant un passage à des huiles végétales. (Duke University, 2009 et Key et McBride, 2007) La production a alors commencé à se concentrer sur la capacité des porcs à convertir efficacement leur nourriture en protéines. Ce changement a mené à un type beaucoup plus maigre de porc produit. De plus, il y a eu un changement significatif dans la façon de produire des porcs aux États-Unis au cours des 50 dernières années. (Lammers et autres, 2007) Les faibles prix du marché ont mené à de faibles prix à la production, ce qui a fait en sorte que les opérations plus importantes et plus efficaces ont survécu et que les petites exploitations n'ont plus été en mesure de produire des porcs rentables (EPA, 2015a).

En effet, tous les aspects de l'agriculture aux États-Unis ont changé de façon draconienne depuis les cinq dernières décennies. Les fermes de petite taille, avec des productions diversifiées, sont dorénavant chose du passé en majorité. Le modèle dominant aujourd'hui est largement industrialisé et basé sur des productions intensives à grande échelle qui dépendent de machineries, de pesticides et qui se spécialisent sur la production d'une seule espèce d'animal ou de culture. Dans le cas de ces monocultures, la machinerie a largement supplanté la main-d'œuvre agricole, qui est maintenant représentée en grande partie par des employés et non plus par les membres de la famille propriétaire de la ferme. Les récoltes sont devenues des produits généralement vendus à des firmes spécialisées pour l'entreposage, le traitement, la distribution, la fabrication et la commercialisation, nationale et internationale. (EPA 2015a et Duke University, 2009)

Dans le domaine de la production porcine plus particulièrement, il est aussi vrai que les petits et les

moyens producteurs se font de plus en plus rares, étant souvent forcés à vendre, en raison de la concurrence avec les quelques grandes entreprises qui dominent le marché. Effectivement, les élevages porcins sont aujourd'hui, pour la plupart, des EEI, avec de hautes densités de porcs élevés à l'intérieur. Aux États-Unis, le terme choisi pour désigner ces installations est *Concentrated animal feeding operations* (CAFO) ou exploitations d'élevage en claustration (EEC). Selon la définition du *Clean Water Act* (CWA) (33 U.S.C. 1251 – 1376), qui réglemente les élevages sur plusieurs aspects environnementaux, un élevage porcin est considéré comme intensif lorsque le nombre de têtes dépasse 2500 porcs d'un poids supérieur à 55 livres chacun. (Copeland, 2012; OCDE, 2008 et Speir et autres, 2003) La majorité des unités de production porcine comprennent entre 4 000 et 10 000 porcs (Key et autres, 2011). Aussi, une production animale de toute taille peut être désignée un CAFO si elle répond à certaines conditions spécifiques, par exemple si elle est une contributrice importante à la pollution des eaux de compétence fédérale.

Les états de la *Corn Belt* sont les principaux producteurs porcins des États-Unis. Ceci est dû entre autre au coût moins élevé des grains et à la densité humaine plus basse. Les cinq plus gros producteurs sont l'Iowa, la Caroline du Nord, le Minnesota, l'Illinois et l'Indiana. Les trois états les plus grands producteurs de porcs sont responsables, à eux seuls, de 55 % de la production du pays (Steinfeld et autres, 2010). Depuis longtemps, c'était surtout en Iowa et en Illinois que la production était basée, mais dans les années 1980-1990 la production porcine a augmenté de façon étonnante dans le Sud-Est, en particulier en Caroline du Nord (figure 1). L'élevage de grandes quantités de porcs dans le Sud-Est des États-Unis pose un plus grand défi pour gérer les énormes quantités de lisier, étant donné la population plus dense et beaucoup moins de superficies cultivées pour appliquer le lisier que dans le Midwest (Thicke, 2014).

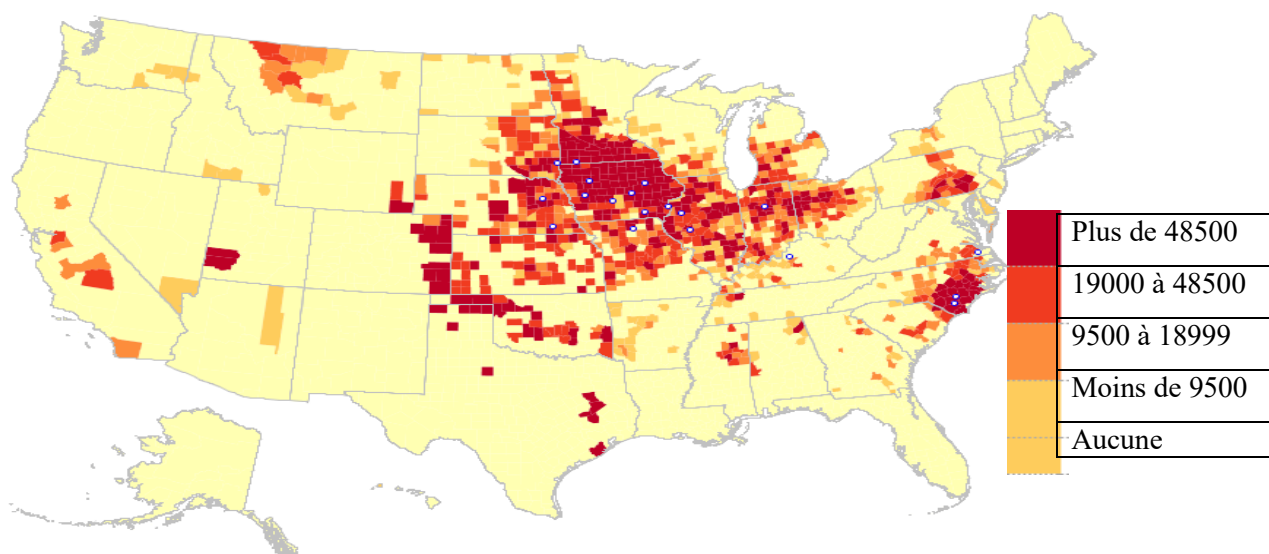


Figure 1.1 Densité de porcs dans chaque comté de chaque état des États-Unis. (tiré de Food and Water Watch, 2015)

Les chiffres parlent d’eux-mêmes : en 1976, il y avait un million d’exploitations agricoles pour produire environ 46 millions de porcs et en 2016 il ne fallait que 68 300 fermes pour accueillir 67 644 millions de porcs (USDA, 2016). Par ailleurs, les porcs produits en confinement ont une croissance beaucoup plus rapide, ce qui signifie une période de temps moins longue dans le bâtiment et la possibilité d’accroître la quantité de porcs produits chaque année. Donc, un nombre plus élevé de porcs est commercialisé. En effet, selon un inventaire du *United States Department of Agriculture* (USDA, 2014), les États-Unis envoie près de 112 millions de porcs à l’abattoir par année. En moyenne, un porc adulte produit jusqu’à une tonne de lisier par année (EPA, 2015a; USGAO, 2008). L’animal est gardé en vie environ six mois. Cela équivaut à plus de 60 millions de tonnes de lisier à gérer par année, aux États-Unis. Ce nombre inclut les 2,8 millions de truies en gestation. Par contre les estimations de production de lisier varient grandement selon les différentes méthodes de calcul. Le facteur le plus important dans la détermination de la quantité de lisier produit est la quantité et la qualité d’aliments que l’animal reçoit. La quantité de lisier augmente à mesure que les porcs croissent jusqu’au poids d’abattage. Il y a aussi une grande différence en quantité entre les truies gestantes et en lactation, en grande partie due à l’augmentation de nourriture que reçoivent les truies allaitantes et leurs portées. (Hamilton et autres, 1997; National Hof Farmer, 2015)

Avant les années 1960, la plupart des porcs aux États-Unis étaient élevés à l’extérieur en pâturage. De nos jours, le développement de planchers de lattes (plancher à caillebottis) qui laissent passer les déjections animales et l’équipement pour gérer le lisier liquide offrent la possibilité aux producteurs d’augmenter facilement leur quantité de production en confinement à l’intérieur de bâtiments à l’année.

Les porcs sont aussi à l'abri des intempéries dans des bâtiments fermés qui les protègent de conditions climatiques peu clémentes, des prédateurs et qui minimisent la pollution potentielle de l'eau par le ruissellement. Aussi, les producteurs ont commencé à faire en sorte que leurs truies aient deux portées par année au lieu d'une. (EPA, 2015a et Key et McBride, 2007)

La technique de production, depuis le début de cette industrialisation, est la même dans pratiquement toutes les exploitations agricoles porcines américaines (Bandekar et autres, 2014). Conçus par insémination artificielle par des truies détenues dans des cages de gestation, les porcelets sont transférés brièvement dans des cases de mise bas où ils ont accès au lait maternel. Puis, à l'âge de 14 à 21 jours, ils sont sevrés et ils sont alors transférés par camion à un parc d'engraissement appelé « engraissement-finition » (USDA, 2005). Leur diète est constituée de maïs et de soja. Leur nourriture est mélangée à des antibiotiques, des vitamines et des suppléments fournis par des distributeurs automatiques. Les antibiotiques sont utilisés dans un but non médicinal, soit dans une optique de prévention pour éviter la propagation de maladies et aussi pour accélérer la croissance (Bandekar et autres, 2014). Autour du cinquième ou sixième mois, quand ils ont atteint leur poids cible d'environ 105 à 130 kilogrammes, ils sont amenés par camion à l'abattoir. (Hamilton et autres, 1997)

Les coûts les plus importants pour un producteur porcin sont liés à l'alimentation du porc, qui consomme de grandes quantités de nourriture. Chaque porc qui est commercialisé aux États-Unis a consommé 672 livres de maïs et 140 livres de farine de soja au cours de sa vie (Lory et Massey, 2006). La consommation du maïs a pour but de fournir de l'énergie au porc, tandis que le soja fournit des protéines. Aux prix actuels, les coûts d'alimentation sont de 62 USD par porc pour la durée de sa vie (National Hog Farmer, 2011). En terme d'espace, l'alimentation des porcs demande plus de 3,24 millions d'hectares pour la croissance du maïs et plus de 1,21 millions d'hectares de soja. (Bandekar et autres, 2014; EPA, 2015a) Les porcs consomment aussi d'autres types de grains, en plus petites quantités, tels que l'avoine, l'orge et parfois le blé, ajoutant ainsi, un apport en lipides et en glucides.

1.2 Contexte international

Le porc est la viande la plus consommée au monde (Lowe et Gerrefi, 2008). Les États-Unis sont le troisième plus grand producteur de porcs au monde après la Chine et l'Union Européenne (annexe 1). En 2012, la Chine a produit plus de 50 millions de tonnes métriques de porcs, ce qui est plus de cinq fois la quantité produite par les États-Unis et deux fois la production totale des 27 pays de l'Union Européenne. (Chemnitz et Becheva, 2014) Cela représente plus 720 millions de porcs produits annuellement par la Chine. Aujourd'hui, chaque personne en Chine mange environ 39 kg de porc par an,

tandis que les américains en mangent environ 27 kg (Zhou et autres, 2015; Zhou et Koemle, 2015). Selon l'USDA (2014), l'Asie a augmenté sa consommation de porc de 18 millions de tonnes au cours des années 1990. (Zhou et autres, 2015; Zhou et Koemle, 2015). De plus, en 2000, on dénombrait environ 857 millions de porcs au total sur la planète, ce nombre s'est accru, pour atteindre 978 millions en 2013 et risque possiblement d'augmenter jusqu'à de 2,5 milliards d'ici 2050 pour répondre à la demande locale et mondiale. (Chemnitz et Becheva, 2014)

Toutes les régions mondiales ont des productions porcines, sauf quelques endroits où, pour des raisons religieuses, la consommation de porc n'est pas encouragée (Chemnitz et Becheva, 2014). La plupart des pays en développement (PED) n'ont pas encore d'aussi grandes fermes de production porcine qu'aux États-Unis. Même en Chine, plusieurs millions de producteurs porcins n'ont que quelques dizaines de porcs. Par contre, les choses évoluent très rapidement avec la demande qui ne cesse de croître et la classe moyenne des PED qui prend de l'ampleur et réclame davantage de viande. (Zhou et autres, 2015)

On dénote de grandes différences législatives entre l'Union Européenne (UE) et les États-Unis en matière de production porcine. Entre autres, plusieurs pays d'Europe ont banni l'usage de pénicilline et de tétracycline, des antibiotiques utilisés pour usage non curatif, dans le but de prévenir des épidémies. (Bandekar et autres, 2014) De plus, l'Union Européenne n'utilise plus de ractopamine, qui est un supplément diététique qui promeut une croissance plus rapide et un taux de conversion plus efficace chez les porcs dans les parcs d'engraissement (Armstrong et autres, 2005). Un autre changement est que la majorité des pays de l'Union Européenne ont banni les cages de gestation. Aux États-Unis, ce n'est pas une législation fédérale, donc quelques états l'ont banni, mais ce sont des états qui produisent très peu de porcs comme le Colorado, la Floride, l'Arizona et la Californie.

Selon Laforest (2015), les producteurs s'opposent au bannissement des cages de gestation pour une raison de productivité : sans cage de gestation, il y a plus de travail et de surveillance nécessaire par le producteur. Les fermes de gestation ont en moyenne 5 000 femelles gestantes aux États-Unis, donc si les cages de gestation sont bannies et que les cages de groupe refont leur apparition, les producteurs devront engager plus d'employés, en plus de devoir refaire tout le design de leur bâtiment. Du côté de la gestion des lisiers, des pratiques durables telles que l'utilisation de digesteurs anaérobies pour fournir de l'électricité, les cultures de couverture, le fractionnement des apports et le compostage du lisier sont des pratiques utilisées à grande échelle en Europe. Les États-Unis sont loin derrière l'UE en termes de pratiques durables. (Nitrawal, 2015; Raven et Gregersen, 2007) Selon Shortle et autres, (2012), plusieurs pays de l'UE perçoivent déjà des taxes environnementales sur les pesticides et les fertilisants. La

Belgique et la République Tchèque taxent les émissions ammoniacales des grandes opérations d'élevages animales (Shortle, 2012; Vojtech, 2010). D'ailleurs, en Europe, la Directive Nitrate protège l'eau et le sol contre la pollution par les nitrates agricoles. Suite à la mise en place de la directive, le Royaume-Uni et les Pays-Bas ont mis en place une approche de type pollueur-payeur : les agriculteurs des zones vulnérables aux nitrates reçoivent des autorisations restrictives sur le type, la quantité et le calendrier des applications d'engrais, lisier et fumier qu'ils peuvent appliquer. (Latacz-Lohmann et Hodge, 2003; Shortle et autres, 2012)

2 RÈGLEMENTATION ET SUBVENTIONS

Aux États-Unis, le projet de loi agricole *U.S. Farm Bill* est le principal outil politique agricole et alimentaire du gouvernement fédéral. Le projet de loi omnibus est révisé à tous les cinq ans par le Congrès et traite à la fois de l'agriculture et des autres affaires qui sont de compétence du département de l'Agriculture des États-Unis. Le dernier projet de loi, soit la Loi agricole de 2014 (*H.R. 2642*), anciennement la « Loi fédérale sur la réforme de l'agriculture et de la gestion des risques de 2013 », correspond à la loi valide de 2014 à 2018. Les dépenses incluses dans ce projet de loi s'élèvent à 956 milliards de dollars US étalées sur dix ans. Plus de 80 % (756 milliards de dollars US) de ces coûts sont prévus pour le financement de « food stamps » qui correspond aux coupons d'alimentations destinés à 46 millions d'Américains en situation financière précaire. Le reste des frais est réservé à l'assurance-récolte, la conservation environnementale et les subventions agricoles. (Agricultural Bill of 2014, Plummer, 2014) En général, les politiques de pollution agricoles sont une mosaïque de lois fédérales, d'état et d'initiatives locales.

2.1 Protection de la qualité de l'eau

Le traitement du lisier et des eaux usées des EEI, la qualité de l'air, la qualité des sols et tout autre sujet touchant l'environnement sont réglementés par l'Agence de protection environnementale fédérale (EPA). Le CWA est à la base de pratiquement tous les règlements qui touchent aux EEI, excluant la qualité de l'air. De manière générale, le CWA interdit l'élimination de rejets dans les eaux fédérales par les sources ponctuelles, à moins que la décharge ne soit autorisée par le *National Pollutant Discharge Elimination System* (NPDES) *program* délivré par l'EPA. Les EEI sont désignées comme une des sources ponctuelles en vertu du CWA (CWA, 33 U.S.C. 1251-1376).

En ce qui a trait aux lisiers et aux fumiers, l'EPA a révisé le CWA en 2003 pour instaurer de nouvelles exigences nationales relatives aux plans de gestion des éléments nutritifs (PGEN), à la tenue de registres et à l'obligation d'obtenir des permis pour déverser dans un point d'eau, en plus des limites de quantité de lisiers et d'eaux usées disposées dans l'environnement. La nouvelle réglementation concernant le NPDES a été émise en 2008 par l'EPA. (Shortle et autres, 2012) Les nouveaux éléments ont fait en sorte que les sources ponctuelles qui déversent directement dans les eaux de surface par un tuyau ou un fossé ou toutes les installations qui sont légalement considérées comme des EEI doivent obtenir un permis avant de pouvoir effectuer ces rejets dans le milieu aquatique. Mais l'industrie et les groupes environnementaux ont contesté rapidement ces nouveaux règlements, étant tout deux contre ces changements, pour des raisons différentes. Le procès « *National Pork Producers c. EPA* » a d'ailleurs annulé des parties de ces nouveaux règlements (US Court of Appeals, 2011). Par

conséquent, les tribunaux ont rejeté plus d'une fois la tentative de l'EPA de modifier les règlements pour les EEI pour forcer le respect de la CWA (Groves, 2012). Cette nouvelle réglementation a tout le moins amélioré les choses. Car, avant l'implantation des changements de 2008, l'EPA évaluait que plus de 13 000 entreprises agricoles avaient assez d'animaux pour qu'elles aient à demander un permis pour pouvoir éliminer leurs rejets dans les eaux fédérales. Par contre, moins de 20 % d'entre elles le faisaient. (Speir et autres, 2003, USGAO, 2008)

Un autre point faible de la réglementation inclus le fait que le CWA alloue le contrôle des sources de pollution non-ponctuelles aux états. Ce type de pollution est certainement le type de pollution par l'agriculture qui affecte le plus la qualité de l'eau des États-Unis. À quelques exceptions près, les états ont généralement opté pour des stratégies de conformité volontaire soutenue à des degrés divers, par les programmes étatiques et fédéraux d'assistance technique et financières pour l'adoption des *best management practices* (BMP) du CWA. (Groves, 2012)

Malgré tout, il semble qu'une grande confusion soit installée dans le système législatif environnemental concernant les exploitations d'élevage. Effectivement, selon une étude du *United States Government Accountability Office* (USGAO, 2008), l'EPA n'a pas les informations suffisantes et précises sur le nombre d'EEI autorisées à l'échelle nationale, leur location et si elles sont considérées comme une source de pollution. En conséquence, l'USGAO estime que l'EPA n'a pas les connaissances nécessaires pour réglementer efficacement ces EEI. L'EPA travaille depuis avec les différents états pour établir un nouveau système national de données (USGAO, 2008; Shortle et autres, 2012). À l'heure actuelle, chaque état détient toujours le contrôle des questions environnementales. La réglementation environnementale pour les EEI varie considérablement d'un état à l'autre (Steinfeld, 2010).

Un des aspects importants du NPDES est la distance minimale de séparation (DMS) entre l'endroit où a lieu l'épandage de lisier et l'habitation la plus près, qui a pour but de rendre les problèmes d'odeur moins problématiques. Le règlement fédéral exige aussi une DMS de 30 m entre les terres où du lisier est épandu et les eaux de surface; lorsqu'il y a une bande riveraine, la DMS est d'environ 9 m. (EPA, 2012; Speir et autres, 2003) Pour les distances requises des habitations à proximité, certains états tel l'Illinois a mis en place une directive exigeant un espacement de 400 mètres de l'élevage porcin le plus près. En Iowa cette distance passe à 220 mètres et 150 mètres au Wisconsin.

Selon le programme NPDES, les EEI doivent aussi mettre en place un PGEN complet. Les PGEN

doivent être faits par le propriétaire de la production ou par un agronome, mais les méthodes d'évaluation diffèrent grandement d'un état à l'autre. Certains demandent que le plan soit présenté à un organisme gouvernemental ou un organisme de conservation pour évaluation, mais certains états laissent le producteur remplir le PGEN et demandent seulement de le garder en sa possession pour consultation si un inspecteur le demande. Les éléments nutritifs touchés par le PGEN sont l'azote pour tous les états et certains états l'exigent également pour le phosphore. Les analyses du sol pour le PGEN doivent aussi porter sur les métaux, le pH et d'autres éléments qui pourraient nuire à la mobilisation des éléments nutritifs. (EPA, 2012; Speir et autres, 2003) Certaines limites ont été mises en place pour l'épandage des lisiers et fumiers par rapport à la quantité épandue, les DMS et les périodes d'épandage. Encore une fois, ceci dépend des états et les restrictions varient grandement.

Certains états offrent des mesures incitatives et des options de partage des coûts afin d'encourager une protection plus optimale de l'environnement. Ces mesures incitatives ne proviennent pas de l'EPA, mais du Programme d'incitation à la préservation de la qualité de l'environnement (*Environmental Quality Incentives Program*) (EQIP) de l'USDA, ainsi que certains programmes de partage des coûts mis en œuvre par les états (Ribaud et autres, 2011). Ceux-ci peuvent aider les exploitants des EEI à assumer le coût de construction des installations de gestion du lisier. Par exemple, quelques états offrent des crédits de taxe pour l'achat de certains équipements antipollution. Cependant, de façon générale, le coût des structures nécessaires à la gestion du lisier et des eaux usées dans les EEI doit être assumé en grande partie par les éleveurs et non pas par les intégrateurs ou l'état (Groves, 2012). Véritablement, avec un financement annuel actuel de 1,3 milliard de dollars US, l'EQIP ne parvient pas à fournir les ressources financières aux producteurs qui le demandent. De 1997 à 2004, 37 % des fonds EQIP ont été dépensés pour les pratiques liées à la conservation de la qualité de l'eau et 28 % ont été consacrés à la gestion des éléments nutritifs du fumier et du lisier (Ribaud et autres, 2011 ; Shortle et autres, 2012). En 2008, plus de 487 millions de dollars US en demande de financement à l'EQIP, équivalent à près de 50 % des dépenses n'ont pu être financé faute de fond (Shortle et autres, 2012).

En somme, il est évident que même si le CWA semble être une loi massive qui protège les écosystèmes aquatiques du pays, plusieurs failles affaiblissent la protection environnementale. L'amélioration du contrôle sur les EEI nécessitera encore beaucoup de travail. D'ailleurs, à titre d'exemple, en 2011 l'EPA a conclu après enquête sur 48 EEI en Géorgie que la qualité de l'eau fait face à un risque important. Effectivement, près des trois quarts des productions animales opéraient encore sans permis du NPDES ou n'avaient pas de PGEN. L'EPA a constaté des lacunes importantes

dans la surveillance des EEI de la part de l'état. Le département de l'agriculture de l'état a été coupable d'avoir négligé tous ses suivis de vérification quant à l'évaluation du respect des permis par les fermes. (EPA, 2011)

En 1997, l'entreprise Smithfield Inc. a reçu la plus grande amende civile reliée au CWA aux États-Unis pour avoir déchargé des niveaux illégaux de polluants de leur abattoir et de deux autres filières dans la rivière Pagan en Virginie, violant ainsi la loi fédérale du CWA. La compagnie a omis d'installer des équipements appropriés pour traiter le lisier et les eaux usées. Ceci a mené à plus de 5000 violations de la loi par rapport aux limites de phosphore, de coliformes fécaux et d'autres polluants. Cette pollution s'est déversée dans la rivière Pagan, la rivière James et la Baie de Chesapeake pendant plus de cinq ans. L'EPA a constaté des violations chroniques graves des limites de rejet pour plusieurs polluants, y compris le phosphore, l'ammoniac, le cyanure, l'huile, la graisse, et les coliformes fécaux. Un autre jugement a trouvé Smithfield coupable d'avoir falsifié des documents et d'avoir détruit des dossiers de qualité de l'eau. Pour toutes ces raisons, la compagnie a dû payer 12,6 millions de dollars américains en amendes. Ceci équivalait à 0,35 % de leurs ventes annuelles à ce moment-là. (Robertson, 1999; Medinger, 2001)

2.2 Protection de la qualité de l'air

Les EEI affectent aussi grandement l'air en dégageant des quantités significatives de polluants tels : l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène, l'oxyde nitreux, le méthane, les matières particulaires et des composés organiques volatiles (COV). Selon un rapport du Conseil national de recherches, les déchets animaux seraient responsables de plus de la moitié de l'ammoniac naturel et anthropique total aux États-Unis. De ce fait, les EEI ont été associés à une série de problèmes de santé et environnementaux; de l'inflammation des voies respiratoires et des nausées aux pluies acides. (Sierra Club, 2015) Cependant, alors que la *Clean Air Act* (CAA) (42 U.S.C. §7401 et seq., 1970) possède des outils pour réglementer la pollution de l'air causée par les EEI, ces derniers échappent pour l'instant à toute réglementation. En effet, la réglementation n'est toujours pas en place pour que les EEI aient des comptes à rendre aux citoyens américains. Plusieurs groupes environnementaux demandent depuis plus d'une trentaine d'années à l'EPA de mettre en place des exigences du CAA soumettant les EEI aux mêmes normes atmosphériques applicables aux centrales électriques alimentées au charbon et d'autres grands émetteurs industriels (Merkel, 2006).

Pour sa part, l'EPA a toujours abordé la réglementation des émissions atmosphériques des EEI par des lois de type « droit à l'information » qui exigent la divulgation publique des émissions atmosphériques potentiellement nocives, mais qui ne punissent pas les producteurs qui dépassent les

limites. (Peterka, 2014) C'est en vertu des dispositions de droit à l'information du CERCLA 42 U.S.C. §11001 et seq. (1986), aussi connu sous le nom de *Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act*, que le *Emergency Planning and Community Right-to-Know Act* a été adopté par le Congrès comme réglementation nationale pour la sécurité de la communauté (Sierra Club, 2015). Cette loi est conçue pour aider les collectivités locales à protéger la santé publique, la sécurité et l'environnement contre les risques des émissions atmosphériques nocives. Les EEI sont tenus de déclarer les émissions de certains polluants, notamment l'ammoniac. Cette exigence a conduit à la divulgation que le plus grand émetteur d'ammoniac du pays est une méga-production laitière en Oregon (Peterka, 2014).

De ce fait, pour aider l'industrie de l'élevage à améliorer leur performance en terme d'émission atmosphérique, en 2005 l'EPA a annoncé un accord sans précédent avec les producteurs dans lesquels l'agence a décidé de ne pas poursuivre les dirigeants de EEI pour violations des lois sur la pollution de l'air en échange d'un financement de deux ans d'une étude de monitoring sur les émissions atmosphériques. (Merkel, 2006) L'EPA a commencé l'étude de surveillance des émissions atmosphériques nationales en 2007 sous la direction de l'Université de Purdue. En 2015, l'étude était loin d'être terminée. Si bien que selon l'EPA, la date probable de terminaison de cette étude et le développement de la méthodologie de surveillance des émissions serait reportée à 2030 (EPA, 2015b).

En l'absence de réglementation fédérale, plusieurs états ont établi quelques réglementations sur les émissions de CAFO. Certains districts locaux de contrôle de la qualité de l'air en Californie, par exemple, ont mis en place des permis et des exigences de réduction des émissions. Le Minnesota exige aux grandes installations d'élevage d'avoir des plans d'émissions atmosphériques. Par contre, les scientifiques affirment que sans une réglementation fédérale aucune amélioration significative ne peut voir le jour (Sierra Club, 2015).

Néanmoins, malgré l'absence de réglementation de la part de l'EPA, en 2010 un verdict a été rendu contre Premium Standard Farms Inc., une filiale de Smithfield Foods Inc. Ces derniers doivent payer plus de 11 millions USD en dommages et intérêts à sept ménages de Berlin, dans le comté de Jackson au nord du Missouri (Missouri Court of Appeal, 2011; Proctor, 2010). Le verdict, couvrant 11 années de dommages-intérêts, est la plus grande récompense monétaire contre une ferme porcine dans un cas de nuisances olfactives. Les odeurs mises en cause proviennent de 200 000 porcs qui étaient engraisés à chaque année et plus de 23 millions de tonnes métriques de lisier qui s'accumulaient

dans plusieurs lagunes de plus de cinq hectares chacune, à proximité des 80 bâtiments de confinement. (Draper, 2010; Proctor. 2010) La compagnie a affirmé que le lisier était utilisé comme engrais. Par contre, une telle quantité de lisier était bien au-dessus des besoins en nutriments des 1 800 hectares de terres autour des lagunes. D'énormes quantités de méthane, d'ammoniac et de sulfure d'hydrogène étaient générées et nuisaient à la santé et à la qualité de vie des plaignants (Missouri Court of Appeal, 2011). Ce recours collectif a démontré que Premium Standard Farms Inc. produisait de la pollution à l'échelle industrielle avec une absence totale de considération pour la toxicité extrême de son fonctionnement sur ses voisins, jour après jour. La compagnie doit encore faire face à 250 autres plaignants qui attendent leur tour au tribunal. (Draper, 2010)

3 CARACTÉRISTIQUES DU LISIER

La première étape au bon fonctionnement d'un système de gestion et de valorisation efficace reste essentiellement la connaissance de la concentration en éléments nutritifs du lisier produit sur une opération porcine. Tout d'abord, par définition, le lisier est un mélange d'urine et d'excréments d'animaux d'élevage et d'eau de lavage, qui est composé majoritairement du liquide, ayant une teneur en eau de plus de 96 % (Lory et Massey, 2006). Il est produit principalement par les élevages porcins, bovins et avicoles, où plus de 99 % des producteurs aux États-Unis n'emploient pas de litière, pour leur exploitation. Lorsque les déjections animales sont mélangées avec de la litière, il s'agit de fumier. (Jokela et autres, 2004)

Le ratio C : N des lisiers de porcs est faible, soit d'environ 8 : 1, ce qui le différencie grandement de celui des fumiers d'autres animaux qui ont un rapport plus élevé (annexe 2), soit entre 20 : 1 et 40 : 1 pour les bovins (Chastain et Henry, 2002). Le milieu anaérobie des lisiers empêche l'oxydation des matières organiques et minérales, ce qui fait en sorte que plusieurs des molécules produites durant l'entreposage sont nauséabondes. Le lisier de porc contient les treize éléments nutritifs essentiels que les plantes utilisent. Ceux-ci comprennent l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le soufre (S), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le chlore (Cl), le bore (B), le fer (Fe) et le molybdène (Mo). Tous ces éléments nutritifs proviennent de l'alimentation et des suppléments fournis aux porcs. (Lopez-Ridaura et autres, 2007)

Par ailleurs, pour les régions en surplus de lisier, les paramètres importants à prendre en considération sont l'azote et le phosphore. Ce sont ces derniers, mais surtout l'azote, qui déterminent les possibilités de valorisation du lisier pour des cultures en champ. Le phosphore se retrouve dans la phase solide du lisier et l'azote dans la partie liquide (Chantigny, 2015). La teneur moyenne en azote total des lisiers est de 4,2 kg t⁻¹. L'azote inorganique dans le lisier est principalement sous la forme d'ammonium (NH₄⁺) (figure 3.1), car il y a peu d'oxygène dans la plupart des fosses d'entreposage, empêchant la formation de nitrates (NO₃⁻) (Key et McBride, 2007). Cette combinaison d'azote ammoniacal et du pH neutre du lisier rend l'azote inorganique sujette à la volatilisation. D'importantes quantités d'azote sont perdues sous forme d'ammoniac lors de la période d'entreposage et ces pertes continuent généralement, à des taux encore plus élevés, lorsque le lisier est épandu en surface des champs. Plus de 50 % des émissions totales d'ammoniac (NH₃) se font dès les premiers six heures après l'application (Atia et autres, 2008). En fait, les pertes d'ammoniac suivant l'application au sol du lisier peuvent atteindre 95 % de la concentration totale d'azote ammoniacal (Key et autres, 2011). Ces pertes font diminuer le contenu en éléments nutritifs du lisier et amènent des effets négatifs sur

l'environnement tels que l'acidification des sols et la déplétion en oxygène. De plus, l'ammoniac perdu à l'atmosphère réagit avec l'acide nitrique et forme du nitrate d'ammonium qui restent en suspension dans l'air et peuvent dégrader la qualité de l'air et mener à des problèmes de santé pour les gens habitant à proximité des champs (Atia et autres, 2008).

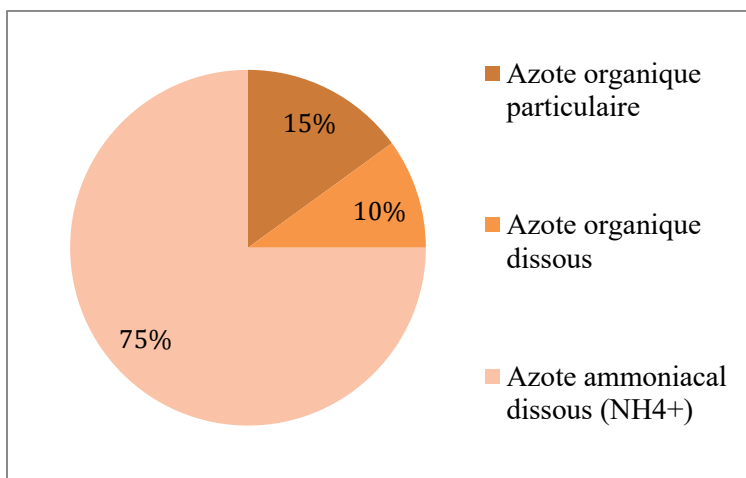


Figure 3.1 Proportion des formes d'azote dans le lisier de porc (adapté de Sasseville et autres, 1994)

En ce qui a trait au phosphore, il y aurait plus des trois quarts qui se retrouvent sous forme de phosphate inorganique (P_2O_5) dans les lisiers. Parallèlement, la totalité du potassium des lisiers est sous forme inorganique de potasse (K_2O) (Key et McBride, 2007; Key et autres, 2011). D'autres paramètres restent également importants à considérer, tels que la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES) et la demande biochimique en oxygène (DBO) qui sont des indicateurs de la charge polluante. Selon Gegner (2004), la charge organique du lisier de porc est trois fois plus élevée que celles des boues de fosses septiques.

En outre, les caractéristiques du lisier comme matière fertilisante sont connues depuis des milliers d'années. Cependant, de nos jours, le lisier est souvent sous-utilisé en tant qu'éléments fertilisants pour la production agricole. (National Pork Board, 2014) Ceci est dû à des caractéristiques physiques et chimiques changeantes qui réduisent sa valeur en tant que fertilisant par rapport à d'autres sources d'engrais et à certaines contraintes physiques et économiques (Seydoux et autres, 2005). En effet, les caractéristiques du lisier peuvent être assez variées d'un porc à l'autre dépendamment de l'âge, de l'état de santé, de l'alimentation et de la consommation d'eau. Ainsi, les déjections d'une truie en gestation et d'un porc dans un parc d'engraissement n'ont pas du tout les mêmes concentrations en éléments nutritifs. (Hamilton et autres, 1997; Hatfield et autres, 1998; Lory et Massey, 2006) De plus,

les caractéristiques du lisier évoluent entre la production du lisier, l'entreposage, le traitement et la valorisation (tableau 3.1) (Sasseville et autres, 1994).

Tableau 3.1 Concentration en éléments nutritifs du lisier dans différents types d'entreposage et à différentes profondeurs (adapté de American Society of Agricultural Engineer (2005) et Lory et Massey (2006))

| Lieu de l'échantillonnage | Matière sèche | Unités | Azote total | Ammonium NH_4^+ | Phosphate P_2O_5 | Potassium K_2O |
|--|---------------|--------------------|-------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Lagune en surface | 0,4 % | kg m^{-3} | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,6 |
| Lagune en profondeur | 16,0 % | kg m^{-3} | 1,2 | 0,7 | 1,8 | 1,0 |
| Réservoir à boues en surface (non agité) | 2,5 % | kg m^{-3} | 4,3 | 3,2 | 2,2 | 3,4 |
| Réservoir à boues au milieu (non agité) | 3,5 % | kg m^{-3} | 4,2 | 3,2 | 4,0 | 3,2 |
| Réservoir à boues au fond (non agité) | 8,0 % | kg m^{-3} | 6,1 | 4,0 | 8,6 | 3,0 |
| Réservoir à boues (agité) | 2,2 % | kg m^{-3} | 5,8 | 4,0 | 6,0 | 3,1 |

D'ailleurs, les différentes caractéristiques du lisier de porc déterminent la manière dont il sera valorisé. Selon la saturation en azote et en phosphore de la région où le lisier est généré, il sera traité comme un déchet ou plutôt comme un fertilisant ayant une grande valeur (Hegg, 2005). D'ailleurs, il apparaît que malgré l'abondante législation qui détermine les quantités d'éléments nutritifs maximales à appliquer, une étude effectuée en Iowa illustre que seulement 51 % des agriculteurs qui épandent des lisiers réduisent leurs doses de fertilisants commerciaux et que parmi ceux-ci, uniquement 25 % ajustent leur dose d'azote (Lory et Massey, 2006). Ceci laisse croire que la valeur changeante du lisier ne rassure pas certains agriculteurs, qui sentent le besoin de tout de même continuer à ajouter des fertilisants commerciaux pour ne pas que leur rendement diminue. Pourtant le lisier de porc est, comparativement aux autres types de lisiers et fumiers, celui qui se rapproche le plus des engrais commerciaux en terme de concentration en éléments nutritifs (Chantigny, 2015)

Malgré tout, le lisier diffère des engrais commerciaux parce qu'il comporte un mélange diversifié de composés azotés organiques qui nécessitent une conversion en azote inorganique par les microorganismes, un processus appelé minéralisation, afin de les rendre disponibles pour les plantes (Hernandez et autres, 2012). Un des défis de la gestion du lisier est d'estimer le taux de libération d'azote inorganique de la matière organique du lisier et la fraction d'azote organique qui est ultimement disponible pour les cultures. (Lory et Masey, 2006) Effectivement, l'azote organique devient accessible graduellement, au fil du temps, et non immédiatement. Le temps et la vitesse de cette minéralisation dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment : la température, l'humidité du sol, le pH du sol, le type de lisier et le taux d'incorporation à la terre.

Dans le même ordre d'idées, la concentration totale en éléments nutritifs du lisier est généralement assez faible comparativement aux engrais commerciaux. Par exemple, l'azote, le phosphate (P_2O_5) et le potassium (K_2O) représentent environ 1,5 % du poids du lisier de porc sous forme de boue et 0,2 % du poids du lisier liquide entreposé dans une lagune. La plupart des engrais de qualité commerciale dépassent 3 % de concentration en éléments nutritifs en poids. (Hegg, 2005; Lory et Massey, 2006)

4 CONTRAINTES À LA VALORISATION DU LISIER PAR ÉPANDAGE

À la lumière de ce qui précède, la valeur fertilisante des lisiers est variable entre les opérations porcines et à l'intérieur d'une même opération. Elle est dépendante de plusieurs facteurs comme les proportions minérale versus organique des nutriments, le moment de l'année où l'application est effectuée, la machinerie d'épandage, le type d'application (l'application en surface ou injectée dans le sol), la culture et les propriétés du sol qui reçoit le lisier (EPA, 2012).

4.1 Valeur fertilisante variable

La législation en place dans les différents états permettent l'application d'une quantité limitée d'éléments nutritifs sur les cultures. Le type de culture fera différer la concentration qu'il est possible d'appliquer, selon leurs besoins en éléments nutritifs. En outre, les états ont estimé la concentration des éléments majeurs du lisier de porc, pour permettre aux agriculteurs de connaître la quantité adéquate à appliquer à des cultures de maïs (tableau 4.1). Par contre, il apparaît que ces estimations diffèrent grandement d'un état à l'autre. (Iowa Department of Natural resources, s.d.; Hegg, 2005) Ceci fait en sorte que les agriculteurs du Michigan, par exemple, peuvent étendre une quantité plus de quatre fois plus importante que ceux de l'Iowa. Les différences de climat et de sol sont probablement en cause pour ces différences. Cependant, la disponibilité variable de concentration en nutriments du lisier rend son utilisation plus compliquée que les engrais minéraux.

Tableau 4.1 Disponibilité d'éléments nutritifs du lisier de porc adulte en engraissement sous forme de boue appliquée en surface selon certains états (adapté de Hegg, 2005; Lory et Massey, 2006)

| État | Éléments nutritifs disponibles | | |
|-----------|--------------------------------|--|------------------------------|
| | Azote total (N) | Phosphate (P ₂ O ₅) | Potassium (K ₂ O) |
| | kg m ⁻³ | | |
| Illinois | 3,6 | 5 | 3,6 |
| Indiana | 3,2 | 5 | 3,6 |
| Iowa | 4,6 | 5 | 3,6 |
| Kansas | 1,1 | 5 | 3,6 |
| Michigan | 1,1 | 5 | 3,6 |
| Minnesota | 2,2 | 4,1 | 3,2 |
| Missouri | 3,1 | 5 | 3,6 |
| Nebraska | 1,1 | 5 | 3,6 |
| Ohio | 3,2 | 5 | 3,6 |
| Wisconsin | 3,0 | 3 | 2,9 |

4.2 Mauvaises pratiques d'épandage

En 2006, plus de 67 millions d'hectares de terres utilisées à des fins de cultures pour l'orge, le maïs, le coton, l'avoine, les arachides, le sorgho, le soja et le blé ont reçu une ou plusieurs applications d'azote sous forme de lisier ou d'engrais commerciaux. Le maïs représente 45 % de la superficie de terres cultivées recevant de l'engrais et du lisier (figure 4.1) et 65 % des 9 millions de tonnes d'azote appliqué aux cultures cette année-là. Les critères de taux d'application n'ont pas été respectés sur plus de 21 millions d'hectares fertilisés avec de l'azote (32 %). La culture ayant le plus haut pourcentage d'hectares fertilisés et qui ne répondaient pas aux critères de gestion de l'azote est le maïs. (Ribaud et autres, 2011) Depuis 2006, il n'y a pas eu de suite à ce rapport, par contre il est estimé que les statistiques sont semblables cinq ans plus tard (Ribaud et autres, 2011). Il existe pourtant plusieurs guides de bonnes pratiques agricoles pour connaître les méthodes adéquates pour appliquer le lisier.

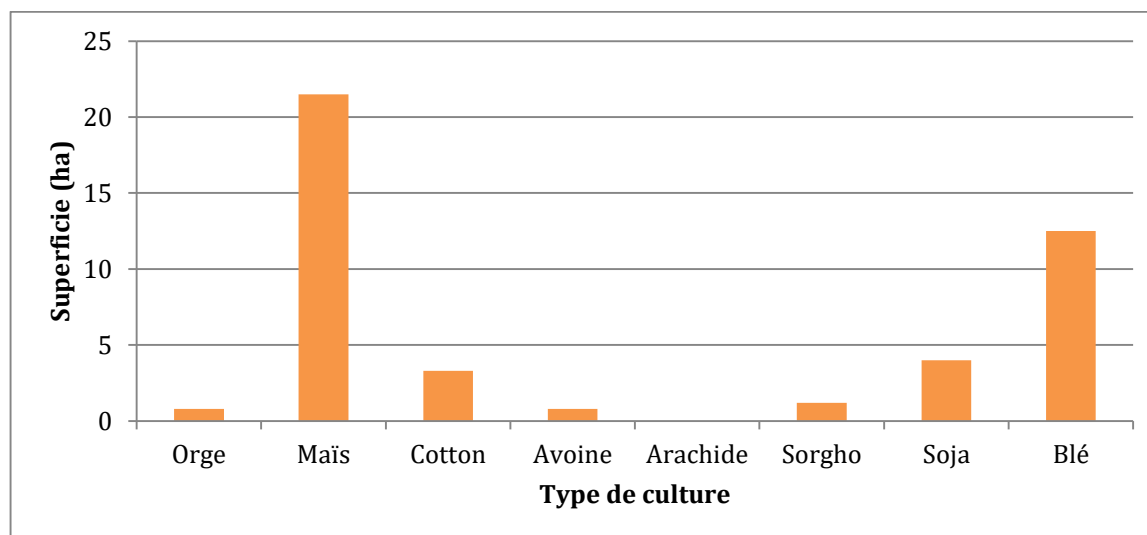


Figure 4.1 Superficie en hectares de culture fertilisée avec de l'azote d'engrais commerciaux ou de lisier ayant reçu de mauvaises pratiques d'épandage en 2006 (tiré de : Ribaud et autres, 2011)

Une autre problématique est à l'effet que le maïs a besoin de 2,5 à 4 fois plus d'azote que de phosphore. Sur une superficie d'un hectare, cette culture de maïs aura besoin de 211,2 kg d'azote, 91,3 kg de phosphate et 211,2 kg de potassium (Robert et autres, 2005). Le lisier quant à lui a des concentrations similaires de ces deux éléments. Par conséquent, un des plus grands problèmes que les producteurs de grains ont en présence de lisier est qu'il n'est pas possible d'atteindre un bon équilibre d'apport en éléments nutritifs pour les plantes comme avec les engrais commerciaux. En effet, si l'application du lisier est faite en fonction des besoins en azote de la culture, la concentration en phosphore sera trop grande, ce qui amène un risque de pollution (Randall et autres, 1999). Le contraire se produit si l'application est faite en fonction des besoins en phosphore de la culture, les besoins en azote ne seront pas remplis et un apport en engrais commercial sera nécessaire.

Les risques de pollution pour chaque élément nutritif sont différents. En effet, lors de l'application de lisier, le producteur doit être conscient que l'azote en surplus peut poser des risques de contamination de l'eau souterraine étant donné la grande capacité de lessivage dans le sol des nitrates. Le phosphore a tendance à se lier aux particules de sol et si le champ n'est pas bien protégé de l'érosion, il y a des risques de contamination des eaux de surfaces. (Steinfeld et autres, 2010; Turner et Rabelais, 2003)

5 GESTION DU LISIER PAR LES GRANDS PRODUCTEURS PORCINS AMÉRICAINS

La consolidation des opérations porcines a mené à une augmentation considérable du volume de lisier produit sur des fermes avec moins de superficies de terres cultivables par animal pour étendre ce lisier. Cette situation a fait croître les risques que les pathogènes et les éléments nutritifs du lisier, tels que l'azote et le phosphore, s'écoulent dans les eaux souterraines et de surface en raison de l'augmentation des applications excessives sur les sols ou par des fuites provenant des installations d'entreposage du lisier. (Speir, 2003) Il existe des régions en Iowa et en Caroline du Nord, entre autres, où les exploitations d'élevage porcin produisent des quantités plus élevées de nutriments que ce qui peut être valorisé par les cultures de cette région (Ribaldo et autres, 2011). De plus, ces grandes concentrations de lisier génèrent une pollution atmosphérique considérable (Key et autres, 2011). En outre, comme toutes ces situations peuvent être problématiques, les producteurs porcins doivent s'assurer de bien entreposer et valoriser leur lisier. Afin d'éviter des contaminations, diverses technologies sont utilisées par les grands producteurs porcins pour gérer ces volumes qui ne cessent de croître. La gestion des lisiers se fait en plusieurs étapes; allant de l'entreposage, au traitement et puis finalement à la valorisation. Le principal mode de valorisation du lisier est l'épandage à l'état brut et liquide ou sous forme de boue pour fertiliser les terres en culture.

5.1 Traitement et entreposage

Depuis quelques décennies, les EEI n'utilisent plus de litière de paille sur le plancher des bâtiments d'élevage de sorte que le lisier peut être manipulé sous forme de boue ou sous forme liquide. Le lisier qui est traité sous forme de boue n'est pratiquement pas dilué, parce que très peu d'eau est introduite dans le processus. Pour sa part, le lisier liquide est dilué puisque de l'eau usée de nettoyage et l'eau de pluie est mélangé pour aider au transport, au traitement et à l'épandage. (Chastain et Henry, 2002) Les deux principaux types d'entreposage du lisier dans les EEI aux États-Unis sont les lagunes et les fosses ou les réservoirs (figure 5.1). Le lisier sous forme de boue entreposées dans les réservoirs est plus courant dans la région du Nord et du Centre des États-Unis, où il peut être recyclé vers les grandes superficies de cultures de maïs de la *Corn Belt* et où les températures fraîches ne sont pas propices à utiliser les lagunes (Allen et autres, 2007; Ball Coelho et autres, 2005).



Figure 5.1 Principales méthodes d’entreposage de lisier de porc a) bâtiments de confinement des porcs et une lagune qui contient le lisier de porc à Stilley Farms en Caroline du Nord (tiré de : Sturgis, 2014) b) construction d’un bâtiment de confinement de porc avec plancher en lattes au dessus d’un réservoir à boues en béton en Iowa (tiré de : Eller, 2014)

5.1.1 Lagunes

Les lagunes ou bassins anaérobiques sont de grandes structures de terre creusées à même le sol et qui ressemblent à des étangs d’environ 6 mètres de profondeur dans lesquelles le lisier et les eaux usées des bâtiments de confinement des porcs sont amenés par des systèmes de pompes et conservées sous forme liquide jusqu’à leur épandage. Les parois des lagunes sont faites d’argile ou recouvertes d’un revêtement artificiel, pour éviter les fuites souterraines. (Chastain et autres, 2002; Chastain et Henry, 2002) Des études ont toutefois démontré que les lagunes fuient généralement à un taux d’environ 1 mL par jour, avec ou sans revêtement (Glanville et autres, 2001). Les lagunes anaérobiques ne sont pas chauffées, mais elle sont souvent mélangées et sont plus efficaces à des températures plus chaudes, car les bactéries anaérobiques sont moins efficaces sous 15°C. (Hamilton et autres, 1997) C’est pourquoi elles sont généralement utilisées dans le sud-est des États-Unis, majoritairement en Caroline du Nord. Habituellement, ces bassins ne sont pas couverts, ce qui fait en sorte que l’eau de pluie dilue le contenu, en plus des eaux usées (figure 5.2). Les lagunes doivent être séparées de toutes étendues d’eau par une certaine distance pour éviter toute contamination. Cette distance est déterminée par les règlements de l’état où se trouve la production porcine (Hatfield et autres, 1998). Ce qui différencie les lagunes des autres méthodes d’entreposage du lisier est que les lagunes stabilisent la matière organique, réduisent la teneur en éléments nutritifs de son contenu en volatilisant 70 à 90 % de l’ammonium en ammoniac. Le « digestat » liquide appauvrit en éléments nutritifs est pulvérisé, soit sur des cultures fourragère ou sur des culture plantées expressément pour absorber ce lisier, tel le cynodon (EPA, 2012). Malgré le fait que plusieurs milliers de lagunes soient toujours en

opération, la Caroline du Nord a interdit la construction de nouveaux bassins anaérobies en 1999, en raison de débordements répétés et des problèmes de santé qui en résultent (Hegg, 2005).

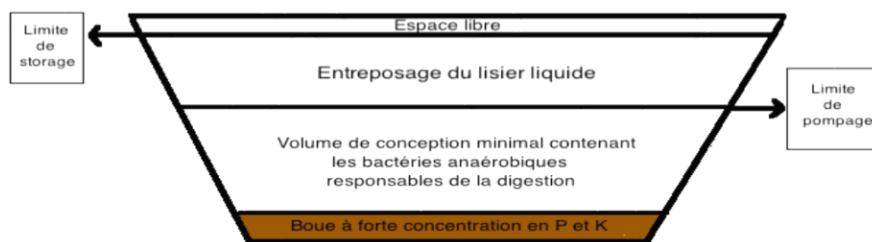


Figure 5.2 Différentes strates d'une lagune anaérobie utilisée pour entreposer le lisier de porc (inspiré de : Bandekar et autres, 2014)

En effet, les eaux de la Caroline du Nord ont été polluées à maintes reprises par les rejets des productions porcines. En 1985, plus de 95 millions de litres de lisier ont été rejetés dans la New River après la rupture d'une lagune. En 1995, un million de litres de lisier ont été déversés dans la rivière Cap Fear et ses effluents. (Mallin, 2000) La même année, un million de litres ont été répandus dans la rivière Trent. De plus, il est ressorti que le coupable visé lors d'une hécatombe de poissons dans la rivière Neuse en 2003, où trois millions de poissons sont morts sur une période de deux mois, s'avérait être le lisier de porcs. Malgré tout, l'exemple le plus connu de déversement de lisier s'est déroulé en 1999 lorsque l'ouragan Floyd a frappé la Caroline du Nord. La tempête a inondé une cinquantaine de lagunes et a causé la rupture de trois d'entre elles, ce qui a relâché des millions de litres de lisier et la noyade d'environ 30 500 porcs, en plus de millions de poules et de dindes. (Lowe et Gereffi, 2008)

Malgré ces désastres écologiques, les lagunes sont utilisées pour favoriser la digestion anaérobie de la matière organique du lisier lors de son entreposage. Une lagune a une contenance beaucoup plus grande que les réservoirs à boues. Elle est conçue pour recevoir jusqu'à quinze ans de lisier (figure 5.3), car seulement un quart du lisier est retiré à la fois pour laisser une grande concentration de bactéries anaérobiques (Chastain et Henry, 2002). En effet, cette partie du contenu de la lagune appelée « volume de conception minimale » doit être laissée dans la lagune lorsqu'une partie du contenu est pompée vers les terres pour garder une haute concentration d'organismes microbiens (Chastain et autres, 2002). De plus, similairement aux lacs, il y a un brassage saisonnier naturel du contenu de la lagune au printemps et à l'automne pour quelques semaines. Lorsque la température ambiante se refroidit ou se réchauffe, la couche supérieure de liquide dans la lagune se refroidit aussi. Sa densité augmente, et la lagune se renverse, forçant la couche inférieure, contenant des matières solides de lisier partiellement digérées,

vers le haut. Ce phénomène se traduit par des niveaux plus élevés d'odeurs pour une courte période de temps. (Pimentel et autres, 2004) Par ailleurs, même si les éléments nutritifs sont appauvris dans une lagune, le phosphore et le potassium s'accumulent dans la boue au fond et doivent être utilisés correctement lorsqu'enlevés. Ces boues doivent être retirées tous les quatre à cinq ans et elles devraient être incluses dans le plan de gestion des éléments nutritifs.



Figure 5.3 Eaux usées et lisier s'écoulant des bâtiments de confinement dans une lagune de terre (tiré de : Pohl, 2013)

Les lagunes restent un sujet très controversé en raison de leur large utilisation dans certaines régions des États-Unis. Une grande partie des populations résidentes à proximité et plusieurs groupes environnementaux tentent de faire bannir l'utilisation de lagunes dans les productions porcines étant donné les risques environnementaux sérieux. D'ailleurs, les lagunes abandonnées constituent également un fléau important, par leurs nombres croissants, dont 500 sont dénombrées, majoritairement en Caroline du Nord et dans d'autres états du sud. (Jones et autres, 2006)

5.1.2 Réservoirs

Pour leur part, les réservoirs ou fosses à lisier sont souvent situés sous les bâtiments de l'opération porcine. Le lisier tombe dans ces fosses profondes à travers le plancher à lattes ou à caillebotis et est entreposé sous une forme de boue jusqu'à son épandage. (EPA, 2015a) Cependant, depuis les années 1980, certaines préoccupations ont été soulevées dues aux problèmes de qualité de l'air dans les bâtiments résultant de l'entreposage de fumier à long terme dans le bâtiment (Seydoux et autres, 2005). Ils sont tout de même encore largement utilisés. Les alternatives à un système d'entreposage à l'intérieur sont un réservoir d'entreposage creusé sous terre à une certaine distance du bâtiment ou un réservoir d'entreposage hors sol en béton ou en acier vitrifié. Les réservoirs en terre fournissent le système d'entreposage à des coûts les plus bas, mais les risques de pollution des eaux souterraines

sont beaucoup plus élevés. (Key et McBride, 2011) Une dégradation anaérobie se fait aussi dans ce type de réservoir, mais à plus faible échelle que dans les lagunes.

Les désavantages de mettre en place un réservoir de lisier sous forme de boue sous le bâtiment de contention des porcs sont les odeurs plus fortes que dans le cas de lagunes. De plus, les hautes concentrations de gaz peuvent grandement affecter la santé des animaux et des travailleurs dans les endroits où la ventilation est déficiente.

Par contre, les réservoirs profonds de lisier sous forme de boue permettent aux producteurs d'augmenter la concentration en nutriments du lisier. Du point de vue financier, des économies importantes peuvent être réalisées en considérant la valeur du lisier. En effet, la concentration en nutriments étant plus élevée dans les réservoirs profonds que dans les lagunes, la valeur du lisier est donc augmentée par un facteur de 4,3. Les besoins d'un hectare de culture de maïs seront remplis à 45 % en utilisant seulement du lisier de porc provenant d'un réservoir à boue. Comparativement à l'épandage de lisier liquide entreposé dans une lagune, le réservoir à boue permet de supporter 3,8 fois plus de superficie de culture (76 hectares par 1 000 porcs comparativement à 20 hectares par 1 000 porcs). (Chastain et Henry, 2002)

Pour illustrer la différence entre les opérations du Nord et celles du Sud-est des États-Unis, en 2009, les exploitations porcines de la Caroline du Nord avaient environ 0,10 hectare de terres cultivées par unité animale à leur disposition, comparativement à environ 0,40 hectare par unité animale dans les régions du Midwest et de l'ouest. (Ribaud, 2011) La plupart des producteurs de porcs de la Caroline du Nord traitent et entreposent leur lisier dans des lagunes et l'épandent à l'aide d'un système d'irrigation ou d'un camion-citerne. En 2009, 90 % des porcs produits dans le Sud-Est se retrouvaient sur les opérations avec un système de lagune, comparativement à seulement 20 à 30 % des porcs dans les autres régions (Key et McBride, 2011). Le système d'arrosage de lisier liquide augmente la volatilisation de l'azote et permet aux producteurs d'appliquer le lisier de porc sur moins de surface que les autres systèmes de gestion du lisier. (National Pork Producers Council, 2013; Smith et Chastain, 2002)

5.2 Épandage et élimination

La phase ultime de manipulation du lisier est son épandage. On distingue trois principaux modes d'épandage :

- par projection sous pression;

- de surface gravitaire;
- par enfouissement direct.

En outre, les technologies d'épandage comprennent les épandeurs de lisier liquide ou sous forme de boue qui injectent le lisier dans le sol ou l'étendent en surface, des systèmes d'irrigation et des systèmes d'arrosage qui propulsent la solution de lisier liquide (figure 5.4) (EPA, 2015a). La méthode d'application du lisier peut avoir des conséquences importantes pour la qualité de l'air, affectant le niveau d'ammoniac, de sulfure d'hydrogène, de matières particulaires, y compris les sous-produits de l'ammoniac, et de gaz à effet de serre tel que le méthane et l'oxyde nitreux (Atia et autres, 2008).



Figure 5.4 Deux méthodes d'épandage de lisier. a) Tracteur relié à une réserve de lisier d'appoint par un tuyau d'épandage, épandant le lisier avec une technique d'irrigation b) Tracteur tirant une citerne, épandant le lisier avec une technique d'injection du lisier dans le sol (tiré de : Chastain et autres, 2002)

À l'intérieur du réservoir, le lisier sous forme de boue est normalement agité pour rendre le contenu en éléments nutritifs du fumier plus uniforme. Il est par la suite transporté sur les terres cultivées pour être valorisé en tant que fertilisant à l'aide de camions-citernes. (Key et McBride, 2007) Le lisier est appliqué sur la surface du sol et laissé tel quel ou est incorporé pendant ou peu après l'application pour contrôler la volatilisation d'ammoniac et les odeurs (Albrecht, 2002) Dans certaines opérations, le lisier peut être pompé vers le site d'épandage par un tuyau et ensuite irrigué sur les terres cultivées. Les systèmes de pulvérisation du lisier avec de puissants jets est une méthode très efficace d'épandage, en termes de vitesse et de charge de travail, mais dégagent de fortes odeurs et un haut taux de volatilisation, ce qui réduit l'azote disponible pour l'utilisation de la plante (Karlen et autres, 2004) Le lisier entreposé dans les lagunes et valorisé par pulvérisation permet aux producteurs de disposer du lisier d'une opération donnée sur moins d'hectares lorsqu'un critère de concentration d'azote est utilisé pour déterminer les niveaux d'application (EPA, 2012).

Ce type d'épandage est effectivement avantageux pour le producteur porcin qui ne désire pas tirer

avantage de la valeur nutritive du lisier, mais ne participe pas à créer de bonnes relations de voisinage. En effet, les élevages industriels peuvent affecter dangereusement la santé des gens vivant à proximité. Les EEI sont maintenant pointés du doigt pour leur participation à ce que l'on appelle dorénavant le racisme environnementale. (Nicole, 2013; Wing et Johnston, 2014) C'est que les régions avec de forte densité de porcs sont des régions où le taux de pauvreté est souvent très haut et où la population est majoritairement noire et hispanique. C'est le cas du comté de Duplin, qui compte plus d'un quart de sa population qui vit en-dessous du seuil de pauvreté, ce qui le rend l'un des comtés les plus pauvres en Caroline du Nord. Ce comté est aussi l'un des comtés produisant le plus de porcs aux États-Unis. Effectivement, environ 530 exploitations porcines avec une capacité totale de plus de 2,5 millions de porcs sont établis à Duplin (Wing et Johnston, 2014). C'est l'endroit avec l'une des plus fortes concentrations d'EEI au monde, même que le ratio porc-humain est de 32 pour 1 (Food and Water Watch, 2012).

Le type de technologies utilisées pour l'épandage du lisier est lié à l'échelle de production. Parmi les EEI qui appliquent le lisier sur leur propres cultures, depuis les quinze dernières années, l'irrigation est la forme la plus commune d'épandage (figure 5.5), suivie de l'injection de lisier liquide (Duke University, 2009; EPA, 2015b). En revanche, les plus petites opérations sont plus susceptibles d'épandre du lisier sous forme de boue ou de solide ou d'épandre du lisier liquide sans injection (Cambereto, 2002). Selon Key et autres (2011), de 1998 à 2009, la superficie moyenne de terres agricoles appartenant à un producteur porcin est passé de 181 à 234 hectares et le nombre d'hectares sur lequel du lisier est appliqué a augmenté, passant de 34 à 55. En conséquence, le pourcentage des terres cultivées appartenant à des exploitations porcines sur lesquelles du lisier a été épandu, a augmenté de 19 à 24 %. Par contre, un pourcentage élevé des producteurs porcins des États-Unis ont épandu leur lisier sur moins d'un quart de leur terre (USGAO, 2008). Cela indique que le potentiel existe pour épandre le lisier sur de grandes superficies de cultures appartenant aux producteurs. Cependant, les terres agricoles sont souvent séparées des installations porcines par des distances considérables (Ribaud et autres, 2011). Ceci implique que les opérateurs pourraient faire face à des coûts de transport et d'application considérablement plus élevés en appliquant le lisier disponible sur leurs terres uniquement. Selon Bolomey (2015), aller plus loin que 12 km pour appliquer du lisier équivaut à une perte significative d'argent. C'est une pratique commune pour les producteurs porcins ayant de grand cheptel et ayant la machinerie nécessaire pour l'épandage de vendre leurs services à d'autres agriculteurs. Par contre, souvent ils ne reçoivent aucun revenu pour le lisier en tant que tel, seulement pour l'application et la location de la machinerie. Selon une étude de l'USDA (2014), seulement 9 % des EEI en 2010 ont réussi à vendre leur lisier, une augmentation significative par rapport à 1995, où 1 % à peine avait fait des profits avec leur lisier. Cette situation peut

être causée par une augmentation de plus de 106 % du prix des engrais minéraux commerciaux entre ces années (Steinfeld et autres, 2010).



Figure 5.5 Deux méthodes d'épandage de lisier liquide a) Système de pistolet mobile utilisé pour pulvériser le lisier b) Système d'irrigation du lisier à pivot central utilisé pour épandre le lisier sur un champ de maïs du Wisconsin (tiré de Seely, 2014)

Ceci étant dit, compte tenu des règlements de plus en plus restrictifs en Caroline du Nord et du moratoire qui a été mis en place pour interdire les fermes de plus de 250 porcs, les nouvelles productions porcines se développent dorénavant de plus en plus dans l'ouest du pays; plus précisément dans l'état de l'Utah. Selon l'USDA, cet état pourvu d'un climat aride est dorénavant sélectionné par les compagnies intégratrices en raison des risques inférieurs de pollution des rivières par des débordements de lagunes provoqués par des inondations et également en raison des règlements environnementaux laxistes (Wise et Trist, 2010, Ribaud, 2015). Compte tenu que les grandes cultures ne sont pas aussi présentes que dans le Midwest, l'épandage d'énormes quantités de lisier générées pose un plus grand défi. Par le fait même, la technique utilisée est de laisser le lisier liquide des lagunes se volatiliser. (Jones et autres, 2006) Dans cette région, peu de gens sont affectés par les odeurs nauséabondes compte tenu des grandes distances qui séparent les gens des fermes. Pour l'instant, comme la production porcine constitue une nouvelle production dans cet état, aucun règlement n'encadre et n'empêche cette pratique. Cependant, l'USDA se penche actuellement sur les risques environnementaux possibles. (Ribaud, 2015)

5.3 Diminution des éléments nutritifs dans le lisier

L'utilisation de phytase microbienne comme additif dans l'alimentation des porcs à l'étape de la finition est une stratégie qui gagne du terrain dans les EEI. La phytase microbienne sert à augmenter l'absorption de phosphore organique par les porcs, ce qui pourrait éviter l'ajout de phosphore inorganique ou minéraux supplémentaires dans l'alimentation et ainsi réduire les coûts des aliments (annexe 3)

(Chastain et autres, 2002). L'augmentation du prix des suppléments de phosphore au cours des 15 dernières années représente un incitatif pour ajouter la phytase à la nourriture des porcs pour réduire les suppléments de phosphore. Ainsi, l'utilisation de phytase réduit l'excrétion de phosphore dans le lisier (Lory et Massey, 2006). Lorsque les taux d'application de lisier sont limités par la concentration en phosphore, la diminution du contenu en phosphore du lisier peut mener à une augmentation des options d'épandage en réduisant le nombre d'hectares nécessaires pour épandre les éléments nutritifs du lisier. Selon une étude réalisée par Ridaudo et autres en 2011, les fermes de 2 800 porcs ou plus ont tendance à utiliser plus de phytases dans leur alimentation. Aussi, le pourcentage de porcs élevés dans des opérations utilisant de la phytase est maintenant passé à plus de 40 %, aux États-Unis. (Key et McBride, 2011; Ridaudo et autre, 2011)

6 MÉTHODES EFFICACES ET DURABLES DE GESTION DES LISIERS

La valorisation agronomique des engrais de ferme, d'un point de vue agroenvironnemental et économique, est une solution logique pour disposer des déjections animales. De surcroît, cette manière de valoriser le lisier améliore certaines propriétés des sols et permet l'approvisionnement des plantes en nutriments. Par contre, les pressions environnementales sérieuses s'intensifient dans les régions où la production s'est le plus développée (Wise et Trist, 2010). Afin de contrôler ces pressions, plusieurs méthodes durables de gestion des lisiers pourraient facilement être ajoutées aux méthodes précédemment citées. Les méthodes présentées dans ce chapitre sont simples et peu coûteuses pour les producteurs. Elles pourraient rendre l'épandage des lisiers plus sécuritaire pour l'environnement. Ces pratiques sont aussi bien adaptées aux régions ayant une forte concentration de porcs. En premier, une des solutions pouvant grandement faciliter la rétention des nutriments en cas de trop grande application est la mise en place de bandes de végétation riveraine le long de cours d'eau longeant les champs. Puis, comme la majorité des producteurs valorisent le lisier par épandage plusieurs pratiques agricoles à prendre en considération, tels que la période d'épandage, la mise en place de culture de couverture, l'application en surface ou l'injection et finalement, la stratification dans la fosse ou l'agitation. En revanche, étant donné les quantités de lisier porcin trop abondantes dans certaines régions, des producteurs se tournent aussi vers la valorisation énergétique.

6.1 Valorisation par épandage

La valorisation des lisiers via les sols agricoles est une pratique tout à fait durable si elle est faite correctement. Par contre, de manière générale, la gestion des lisiers dans les grandes porcheries américaines soulève diverses problématiques agroenvironnementales liées à la gestion non-optimale de leur valeur fertilisante. Le défi consiste ici à tirer un maximum de bénéfices des lisiers en raison de leur apport en éléments fertilisants, tout en cherchant à minimiser les impacts environnementaux découlant de cet usage.

6.1.1 Bandes riveraines

L'épandage de quantités inadéquates de lisier sur les terres agricoles et les fuites provenant des installations d'entreposage du lisier sont malheureusement répandus dans les zones de haute productivité porcine (Jones, 2006). Les risques de pollution des eaux de surface sont ainsi augmentés. De ce fait, l'implantation de bandes riveraines en bordures de champs où le lisier est épandu peut être une solution simple mise en place pour la protection de l'environnement aquatique par les producteurs porcins détenant des terres. (Buffler, 2005; Gagnon et Gangbazo, 2007)

Selon Marc Ribaud (2015), agroéconomiste pour la USDA, le défi le plus colossal aux États-Unis est l'excès de nutriments qui se déversent dans les rivières, dont la rivière Mississippi, qui traverse le pays du nord au sud et qui se jette finalement dans le Golfe du Mexique. En 2015, la zone hypoxique dans le Golfe du Mexique mesurait plus de 16 768 km² lors des échantillonnages en juillet et en août. L'hypoxie est un phénomène où la concentration d'oxygène dissous dans l'eau diminue à un niveau qui ne peut plus soutenir des organismes aquatiques vivants. Ces zones ne cessent d'augmenter en fréquence et en durée depuis les années 1980. La plus grande zone hypoxique qui affecte actuellement les États-Unis, et la deuxième plus grande zone hypoxique dans le monde, est celle au nord du Golfe du Mexique à l'embouchure de la rivière Mississippi. (Ribaud et autres, 2011) D'ailleurs une étude menée par le *US Geological Survey* a estimé que le maïs et le soja sont les cultures les plus contributrices à l'apport en dans le Golfe (Alexander et autres, 2008). La moyenne de superficie de la « zone morte » dans le Golfe du Mexique des cinq dernières années était d'environ 14 245 km². Par conséquent, la zone hypoxique de 2015 est supérieure à la moyenne.

Les chercheurs croient que les fortes pluies qui ont sévi dans le bassin versant de la rivière Mississippi sont responsables de cette zone élevée. En effet, plus les épisodes de pluie sont abondants, plus d'azote (annexe 4) et de phosphore sont lessivés. Ces nutriments proviennent en plus grande partie des fertilisants commerciaux appliqués en quantité inadéquate dans les champs, mais aussi des lisiers et fumiers. (Alexander et autres, 2008) Aujourd'hui, des sommes considérables sont investies pour épauler les agriculteurs et leur offrir les outils et la formation nécessaires pour les orienter vers un travail plus durable et les sensibiliser à une meilleure gestion des nutriments. Par contre, la USDA ne voit que très peu de résultats et une faible proportion de producteurs sont prêts à coopérer (Shortle et autres, 2012).

À cette fin, les bandes riveraines sont une des solutions qui peuvent aider à améliorer la situation. Les bandes riveraines sont des bandes de végétaux permanentes composées d'un mélange de plantes herbacées et/ou arbustives et/ou arboricoles. Elle est une solution simple, naturelle, efficace et peu coûteuse pour diminuer la pollution que subit une grande proportion des rivières et ruisseaux en milieu agricole (Lovell et Sullivan, 2005). Les bandes riveraines rendent de grands services écologiques tels que : la rétention des sédiments, l'absorption des nutriments en excès qui polluent les cours d'eau et la stabilisation des berges (Gagnon et Gangbazo, 2007). Chaque type de végétaux rend des services écologiques différents (tableau 6.1), alors plusieurs guides proposent d'implanter une diversité de végétaux pour obtenir de meilleurs résultats.

Tableau 6.1 L'efficacité des différents types de végétation de bande riveraine à rendre des services écologiques (adapté de Buffler, 2005)

| Avantages | Herbacés | Arbustes | Arbres |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Stabilisation des rives | Basse | Élevée | Élevée |
| Filtration des sédiments liés aux nutriments et pesticides | Élevée | Basse | Basse |
| Filtration des nutriments et pesticides solubles | Intermédiaire | Basse | Intermédiaire |
| Protection contre les inondations | Basse | Intermédiaire | Élevée |
| Diversité visuelle du paysage agricole | Basse | Intermédiaire | Élevée |

Lorsque de fortes pressions anthropiques sont mises sur un environnement, il y a un risque d'érosion si aucune bande riveraine végétalisée n'est implantée dans ce milieu agricole. Cette érosion peut menacer la productivité future des zones agricoles (Zaimes et autres, 2004). De plus, elle peut créer une augmentation des sédiments contaminés par des éléments tels que le phosphore et l'azote, ce qui peut mener à l'eutrophisation des cours d'eau (Turner et Rabalais, 2003). Au Québec, le coût relié aux pertes de sol par l'érosion hydrique peut atteindre de 5 à 17 millions de dollars canadiens par an (Fédération de l'UPA de St-Hyacinthe, 2004). Une estimation monétaire de la sorte n'a pas été réalisée pour les États-Unis, par contre, la USDA estime que la perte de sol due à l'érosion a diminué de 20,29 tonnes par hectare de terres cultivées en 1982 à 14,97 tonnes par hectare en 2012. Pour l'Iowa en particulier, où les productions porcines sont les plus présentes et où une grande quantité de lisier et de fertilisants sont épandues sur les 12 423 000 hectares de terre cultivée, il est évalué qu'environ 12,5 tonnes par hectare de terres cultivées étaient perdues en 2007 comparativement à 18,5 tonnes en 1982. (USDA, 2015b) Malgré cette diminution, l'érosion des sols agricoles reste toujours un problème sérieux. L'ajout d'une bande végétale le long des cours d'eau serait une source certaine de rentabilité, grâce notamment à la protection du capital que constituent les sols fertiles pour l'agriculture et au maintien des fonctions écologiques de l'écosystème, essentiels à une production de qualité (MDDELCC, 2003). Le risque d'érosion (tableau 6.2) est donc déterminé par le type de culture au champ et nous pouvons constater qu'il existe plusieurs techniques pour conserver une bonne stabilité du sol, tels que la rotation des cultures et les cultures de couverture.

Tableau 6.2 La perte annuelle moyenne de sol et le pourcentage de ruissellement après un épisode de pluie, par type de culture (adapté de Buffler, 2005)

| Type de culture | Perte annuelle moyenne (t ha ⁻¹) | Pourcentage de ruissellement après un épisode de pluie (%) |
|---|--|--|
| Sol nu, sans culture | 101,3 | 30 |
| Monoculture de maïs en continu | 49,4 | 29 |
| Monoculture d'avoine en continu | 24,7 | 23 |
| Rotation : maïs, avoine, trèfle | 7,4 | 14 |
| Pâturin (graminée vivace) en continu | 1,9 | 12 |

Malheureusement, contrairement aux milieux humides, les bandes riveraines ne sont pas protégées sous la section 404b1 du *Clean Water Act*, principalement parce qu'il n'y a pas de définition officielle. La section 303d du CWA présente les bandes riveraines comme un outil facultatif mais suggéré pour protéger les cours d'eau de la pollution par l'azote et le phosphore (Buffler, 2005). Même si les bandes riveraines ont démontré leur efficacité dans l'amélioration de la qualité de l'eau, les recommandations des états et du gouvernement fédéral des États-Unis ne sont toujours pas basées sur des consensus scientifiques, mais sur l'acceptabilité politique (Dillaha et Inamdar 1997; Fischer et autres, 2000).

Par contre, il est important de considérer qu'une bande riveraine n'enrayera pas complètement un problème d'érosion et de pollution par les nutriments du lisier (Alameda County Resource Conservation District, 2003). Le producteur agricole doit être sensibilisé à adopter de bonnes pratiques agricoles comme le travail réduit du sol, le semis-direct, l'implantation de cultures de couverture et la gestion adéquate des lisiers (Bédard, 2013). La bande riveraine, étant la dernière ligne de défense, protégera jusqu'à un certain point contre l'érosion hydrique et diminuera l'apport de particules de sol et de polluants vers les cours d'eau. (MAPAQ, 2005).

Que ce soit pour les champs ou les cours d'eau, la prévention coûte toujours moins chère que la restauration, autant en coûts environnementaux qu'en coûts économiques. De plus, il semble qu'une partie des agriculteurs aient une idée erronée de ce que pourrait engendrer le fait d'avoir des végétaux le long de leurs fossés, ruisseaux ou rivières. Contrairement à l'idée de créer de la compétition pour le maïs, les végétaux plantés le long des fossés créeraient des habitats pour plusieurs types d'insectes, dont des pollinisateurs et des prédateurs de potentiels ravageurs (Lovell et Sullivan, 2005). L'espace

perdu pour les végétaux de la bande riveraine près des fossés représente une superficie qui n'est pas très productive et avec l'érosion qui est toujours plus risquée au bord des cours d'eau, les agriculteurs perdront éventuellement cette superficie et même beaucoup plus avec le temps (Gagnon et Gangbazo, 2007).

6.1.2 Modification de la période d'épandage

Les producteurs qui valorisent le lisier porcin par épandage le font à différents moments de l'année. Historiquement, l'épandage des engrais de ferme se faisait principalement à l'automne sous la forme de fumiers solides. Les lisiers, pour leur part, sont moins bien adaptés à cette période d'épandage, car la proportion de l'azote sous forme minérale est très élevée et est facilement lessivable (IRDA, 2003). Aujourd'hui, l'application d'engrais organiques à la fin de la saison de croissance, en post-récolte, est une pratique courante pour les agriculteurs américains (van Es et autres, 2004). Une étude récente avec les producteurs de porcs dans le Midwest, menées par l'Université du Minnesota suggère qu'environ 50 % des agriculteurs appliquent le lisier une fois par an et 50 % épandent deux fois par an (Andersen, 2015). La USDA ne détient pas de statistiques précises sur les périodes d'épandage, mais selon plusieurs documents gouvernementaux, à l'échelle nationale, les producteurs épandent pour la plupart, soit : 1) seulement à l'automne ou 2) au printemps et à l'automne (USGAO, 2008; EPA, 2015). Bolomey (2015) a affirmé que la compagnie intégratrice Borgic Pork, pour laquelle il produit ses porcs, suggère d'épandre le lisier une fois par année en post-récolte à l'automne. Pour ce faire, le lisier est entreposé dans une fosse profonde de 2,5 mètres sous le bâtiment qui se remplit en 12 mois. Puis, son contenu est épandu à chaque automne. Cette façon de faire est celle de centaines d'autres producteurs porcins de cette région de l'Illinois (National Hog Farmer, 2011).

Cette pratique fait en sorte que les grandes quantités d'éléments nutritifs épandus ne sont pas prélevées en totalité par la culture voulue. Les épandages en post-récolte constituent particulièrement un risque pour l'environnement, puisque c'est entre la récolte et le semis au printemps suivant que surviennent les conditions les plus propices aux émissions gazeuses de protoxyde d'azote, au ruissellement ou au lessivage des nitrates dû au sol nu ou gorgé d'eau, aux précipitations abondantes et à la fonte des neiges (Côté et autres, 2002).

Plusieurs études, dont celle de Chantigny et autres (2014), ont démontré que le cycle de l'azote n'est pas interrompu durant la période hivernale. En fait, l'azote minéral, qui est disponible immédiatement pour les plantes, continue de se transformer durant l'hiver, ce qui peut causer de hauts risques de lessivage et de dénitrification. Entre 40 à 90 % de l'azote disponible appliqué à l'automne serait perdu

durant l'hiver, ce qui risque de créer des problèmes environnementaux majeurs, en plus de n'avoir que de très faibles valeurs agronomiques pour les cultures du printemps suivant. D'autant plus que, le lessivage de l'azote s'effectue principalement durant la saison morte, ce qui correspond à 90 % des pertes annuelles (Chantigny et autres, 2006). Ce phénomène se produit même dans des régions avec des hivers très froids et longs comme le Québec et les Maritimes. Des pertes d'azote encore plus grandes se retrouveraient dans des localités aux climats plus cléments tels que l'Iowa ou l'Illinois. De plus, des recherches de l'Université du Minnesota Southern Research et Outreach Center à Waseca menées durant trois ans ont montré que le lisier de porcs et de vaches injecté au printemps produit des rendements de 5 % plus élevés que le lisier injecté en septembre et octobre ce qui nécessiterait vraisemblablement moins d'engrais commerciaux. (Randall et autres, 1999)

De même, selon une étude d'Ahmed (2013), l'analyse des trois périodes d'application de lisier (automne, hiver et printemps) a indiqué que l'application à l'automne menait aux plus bas taux de phosphore et d'azote résiduel dans le sol au printemps et aux plus bas rendements de cultures. Les résultats de cette étude démontrent que l'application automnale du lisier reste une menace potentielle importante pour l'environnement aquatique en raison de la diminution de l'utilisation de P et N par les cultures, de l'activité microbienne qui continue d'être active durant les périodes plus froides, des précipitations élevées durant cette saison et de l'évapotranspiration de novembre à avril. En conséquence, avec le temps, l'accumulation d'éléments nutritifs dans le sol pourrait se déplacer à travers les horizons plus profonds du profil de sol et potentiellement contaminer les sources d'eau souterraines (Hernandez et autres, 2012).

Malgré tout, les décisions sur la meilleure période pour l'application du lisier de porc sont rendues plus difficiles par des compromis entre la réalisation d'un meilleur contrôle de l'érosion des sols, de la meilleure conservation des nutriments dans le lisier et l'utilisation de ces éléments nutritifs par les cultures. L'épandage de lisier à l'automne, après la récolte, est souvent recommandé, car le risque de dommages causés par la compaction du sol est légèrement réduit. (Karlen et autres, 2004) Lorsque l'application est réalisée au printemps, elle est généralement accomplie avant le travail du sol et la plantation. Fréquemment au printemps, les sols recevant le lisier sont saturés, ce qui entraîne une compaction significative du sol. En outre, la disponibilité de la main-d'œuvre favorise souvent l'application à l'automne. (Lopez-Ridaura et autres, 2007; Jayasundara et autres, 2010)

Considérant les raisons présentées ci-haut, il ressort donc que de limiter les applications automnales serait dans l'intérêt des producteurs agricoles. Par contre, un changement de comportement est

susceptible d'avoir un impact sur le coût d'entreposage du lisier. Actuellement, les bâtiments plus récents ont une capacité de 270 à 365 jours d'entreposage (National Pork Board, 2014; NRCS, 2013). Par contre, les bâtiments âgés de plus de 15 ans ont des capacités de rétention de lisier de 180 jours seulement. Cette contenance est généralement basée sur la saison de croissance et sur l'hypothèse que le lisier sera appliqué à la terre au printemps et à l'automne. Si l'application à l'automne venait à être restreinte par des règlements environnementaux, pour des raisons de conservation des sols ou de risque de ruissellement, les producteurs porcins qui n'ont pas de nouveaux bâtiments de contention et d'entreposage devraient investir des centaines de milliers de dollars pour le changement. Un entreposage prolongé non seulement augmente le coût, mais il augmente également la charge de travail au printemps, lorsque de nombreux producteurs sont déjà très occupés. (Key et McBride, 2007)

En effet, lors d'un entretien avec le producteur porcin Jeff Bolomey (2015) et avec l'agroéconomiste Marc Ribaud (2015), il est apparu clair que la raison pour laquelle les producteurs porcins choisissent cette période de l'année pour épandre leur lisier, tout en sachant qu'ils perdent une précieuse ressource, est simplement une raison de disponibilité. L'application à l'automne de lisier, de fumier ou d'engrais azotés destinés au maïs ou tout autre culture qui pousseront l'été suivant est vu comme relativement à haut risque. Ce n'est pas non plus une pratique considérée comme étant dans les BMP du CWA. Par contre, les producteurs sont néanmoins souvent prêts à prendre ce risque et à appliquer l'azote à un moindre coût, sans interférer avec leur travail sur le terrain au printemps (Hernandez et autres, 2013; Sasseville et autres, 1994).

En Belgique, où plusieurs cours d'eau ont été pollués par l'azote lessivé des engrais organiques il est dorénavant totalement interdit d'épandre du lisier de la mi-septembre à la mi-février. Les agriculteurs désirant épandre de juillet à la mi-septembre ne peuvent le faire qu'à condition que l'implantation d'une culture d'hiver (aussi appelé culture « piège à nitrate » en Europe) soit préalablement établie. Ces nouveaux règlements, en vigueur depuis 2014, font suite à la réalisation que la norme maximale de 50 milligrammes de nitrates par litre d'eau, comme limite de potabilité fixée par l'Organisation mondiale de la Santé, n'était pas respectée dans plus de 9 % des échantillons de prises d'eau souterraine. (Nitrawal, 2015)

Bref, la période à laquelle le lisier est épandu est cruciale quant à son absorption par les cultures. Elle peut être responsable de pollution par lessivage et de désastres écologiques comme la zone hypoxique massive dans le Golfe du Mexique, dans l'éventualité d'une accumulation.

6.1.3 Ajout d'engrais vert

Les engrais verts, aussi appelés cultures de couverture, sont des cultures plantées en association ou à la suite de la culture principale, mais non destinées à la consommation. Les engrais verts visent entre autres à améliorer la fertilité du sol, à augmenter le taux de matière organique du sol et à prévenir l'érosion. Ils sont destinés à l'enfouissement au stade juvénile de la plante (Singer et autres, 1999; Singer et Pedersen, 2005). L'idée derrière leur ajout est de couvrir le sol totalement. En les ajoutant à la rotation, la fertilité des sols est augmentée lors de leur décomposition. Elles servent de plus à faire de la compétition aux mauvaises herbes, ce qui aura pour résultat de diminuer sensiblement l'utilisation des pesticides. Les engrais verts accumulent dans leur biomasse les éléments nutritifs non utilisés pendant l'été et les rendent disponibles lors de leur décomposition (Thicke, 2014). Dépendamment de la culture d'engrais vert semée, de 30 à 300 kg d'azote par hectare sont fournis par les résidus d'engrais vert (Halde, 2014). Il existe plusieurs manières de mettre en place ces cultures de couverture :

- En intercalaire, où des rangs d'engrais vert sont insérés entre les rangs de la culture principale. Ce type d'engrais vert s'incorpore bien avec les cultures sarclées (comme le maïs et le soya) à la mi-saison, car il ne sollicite aucune préparation de sol additionnelle et assure une fixation d'azote symbiotique si l'engrais vert contient une ou des légumineuses;
- Semé en dérobée sur toute la superficie du champ après la récolte de la culture principale, pour protéger le sol contre l'érosion. Ceci se fait dans la rotation entre deux cultures principales;
- Comme plante compagne, où l'engrais vert croît en même temps que la culture principale (Breune, 2003; Goulfier, 2015).

Dans le cas de l'épandage de lisier à l'automne, les cultures de couverture en intercalaire ou semées en dérobée après la récolte de la culture sont une solution intéressante au ruissellement durant la saison hivernale, car elles sont une unité d'entreposage provisoire des nutriments. Dans le cas du maïs-grain en Iowa, cette situation est plus difficile à mettre en place étant donnée la récolte tardive du maïs-grain, soit en octobre et parfois même en novembre. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la majorité des agriculteurs refusent d'implanter cette pratique en Iowa et en Illinois (Ribaud, 2015). Par contre, d'autres états ont des climats mieux adaptés à ce type de culture de couverture. Lorsqu'elle est implantée, il est important que les quantités de lisier soient adaptées aux capacités d'absorption du type de culture de couverture. Puis, au printemps suivant, les plantes des cultures de couverture se décomposent et rendent les nutriments disponibles pour la culture principale. De cette manière, la

quantité de fertilisants à épandre au printemps est réduite. (Équiterre, 2010)

Ces cultures de couverture peuvent aussi jouer un rôle important lorsqu'elles sont intégrées en intercalaire durant la saison de culture, advenant le cas où les fertilisants et/ou les engrais de ferme épandus seraient en quantité non adéquate. Il est aussi possible d'épandre au printemps, si les conditions météorologiques le permettent, juste avant le semis de l'engrais vert. Cela permet une valorisation adéquate des lisiers, tout en limitant leur lessivage. (Ahmed et autres, 2013)

L'Europe utilise depuis très longtemps les cultures de couverture et cultures compagnes conjointement avec l'épandage d'engrais, pour capturer l'azote résiduel des fertilisants et des engrais organiques. Le Service régional de l'agriculture, de la forêt et des territoires de la France (2014) affirme que « l'implantation d'une culture intermédiaire après la récolte est l'une des mesures les plus efficaces pour lutter contre le lessivage du nitrate d'origine agricole. »

6.1.4 Enfouissement

Le Guide de référence en fertilisation (2011) du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) mentionne que :

« La volatilisation du NH_3 survient principalement dans les trois à six heures suivant l'épandage et décroît de façon exponentielle par la suite (Rochette et autres, 2001). Les principaux facteurs qui favorisent la volatilisation sont un produit laissé en surface, un sol humide peu propice à l'infiltration du lisier, une température élevée et un pH alcalin du produit appliqué. La volatilisation du NH_3 est une perte d'ammonium qui peut réduire de façon substantielle la valeur fertilisante des engrais de ferme. De plus, le NH_3 volatilisé peut avoir un effet néfaste sur la qualité de l'air et des milieux naturels où il se redépose. »

De ce fait, l'incorporation des lisiers reste une solution avantageuse autant du point de vue de l'environnement que de la conservation des propriétés fertilisantes. Des épandeurs à lisier à rampe basse ou à pendillards permettent dorénavant une application homogène au niveau du sol et les plus récents modèles détiennent des enfouisseurs qui assurent l'incorporation simultanée du lisier dans le sol (herse à disques par exemple). Deux types de rampes d'épandage sont bien adaptés à l'incorporation des lisiers : les « rampes à maïs » aussi appelés les enfouisseurs à dents et les rampes « pleine terre » ou épandeurs à pendillards de surface gravitaire (Fédération des porcs du Québec, 2005).

Les rampes à maïs enfouissent directement le lisier dans le sol sans qu'il y ait eu au préalable d'épandage en surface. Il est possible d'épandre le lisier en post-levée jusqu'à ce que les plantes aient atteint une hauteur d'environ 45 cm, soit pour une période d'environ quatre à cinq semaines avec ce type de machine (Fédération des porcs du Québec, 2005). Les rampes d'épandage munies de pendillards étendent le lisier à la surface du sol, elles peuvent être positionnées jusqu'à effleurement du sol, diminuant grandement la propagation des mauvaises odeurs. Par contre, elles nécessitent de repasser une seconde fois avec un autre type de machinerie pour incorporer le lisier. Elles peuvent être utilisées en pré-semis, en post-levée ou en post-récolte de céréales. (CRAAQ, 2011)

De nos jours, l'incorporation est une pratique généralisée dans les états comme l'Iowa et l'Illinois. D'une part, les agriculteurs évitent des plaintes dues aux mauvaises odeurs et d'une autre, ils perdent moins d'éléments nutritifs. Cependant, tout comme au Québec, une problématique commence à faire surface. Les champs de maïs sont drainés en Iowa, en Illinois et dans plusieurs autres états du Midwest (Cooley et autres, 2013). Les sols argileux, qui ont un contenu en argile de plus de 35 % (argileux très fin et argileux fin) et qui sont drainés, sont à risque de craquer en séchant et parfois les fentes (macropores) se rendent jusqu'au drain (IRDA, 2003). Dans le cas d'application de lisier ou d'engrais chimique, les éléments nutritifs se retrouvent directement dans l'eau souterraine. Pour éviter les fentes de retrait, l'injection doit être de moins de 10 centimètres de profondeur (Cooley et autres, 2013). Au-dessus de cette profondeur, les plantes ne seront pas en mesure d'absorber correctement les nutriments et le risque de pollution de l'eau souterraine est accru. Il est aussi préférable de bien labourer le sol avant l'injection (Chantigny, 2015). Cette technique a fait ses preuves et son utilisation commence à être généralisée. Par contre, l'injection des lisiers doit être jumelée à d'autres pratiques durables pour que l'environnement ne soit pas à risque.

6.1.5 Stratification du lisier dans la fosse et fractionnement des apports

L'épandage du lisier en post-levée, soit lorsque les plants ont émergé du sol, permet la synchronisation de l'apport fertilisant avec les besoins des cultures. Ainsi, les plantes peuvent recevoir les éléments fertilisants dont elles ont besoin à différents stades de leur développement. (Chantigny, 2015) Le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ) suggère dans ses recommandations officielles, le fractionnement des apports de nutriments pour le maïs (Tremblay et Breault, 2015). Par contre, aucune recommandation officielle n'a été émise de la part de l'USDA.

À cet égard, les particules solides ont une masse volumique plus élevée que celle du lisier, ce qui les amènent à sédimenter au fond de la fosse ou de la lagune durant l'entreposage. Elles transportent avec

elles les éléments particuliers, tels que le phosphore et les métaux. Au contraire, les éléments sous forme soluble, comme l'azote ammoniacal et le potassium, demeurent répartis uniformément. (IRDA, 2003) C'est le phénomène de stratification du lisier dans le réservoir. Pour contrer cette stratification, les fosses et les lagunes détiennent des mélangeurs automatiques. Par contre, le mélange du lisier dans le réservoir n'est pas une pratique souhaitable, car ce lisier contient une quantité d'éléments nutritifs qui ne correspond pas aux besoins des cultures comme le maïs. Ce qui signifie que l'épandage ne peut être fait en respectant tous les besoins agronomiques des plantes. (Chantigny, 2015) Néanmoins, cette pratique est très répandue et la presque totalité des productions porcines disposent de mélangeur dans leur fosse. Ceci fait en sorte que lors de l'épandage, la culture recevra soit une quantité trop élevée de phosphore soit une carence en azote (CRAAQ, 2011).

Pour que la valeur fertilisante du lisier soit mieux adaptée aux réels besoins des plantes, Chantigny (2015) suggère de cesser l'agitation du lisier dans la fosse. Une manière durable de gérer le lisier est de le laisser sédimenter naturellement ou à l'aide d'un séparateur mécanique dans le réservoir. Ainsi, la partie liquide riche en azote et la partie solide riche en phosphore seront distinctement stratifiées. Par la suite, le lisier peut être pris par strate, dépendamment des besoins de la culture. En début de saison, la majorité des cultures ont besoin de phosphore en pré-levée et un besoin accru en azote en post-levée. La strate solide riche en phosphore peut donc être utilisée comme démarreur de croissance. (CRAAQ, 2011) L'absorption maximale d'azote pour le maïs se produit en période de croissance soit entre les stades où le maïs est à la hauteur des hanches et ce, jusqu'à sa floraison (Jokela et autres, 2004). Durant cette période, les risques de perte d'azote sont plutôt faibles.

Selon Chantigny (2015), la problématique principale en lien avec l'augmentation de la taille des productions porcines crée un cercle vicieux. Assurément, la production augmente ce qui signifie que les producteurs ont moins de temps. Cette situation les pousse à acheter plus de machineries, souvent spécialisées pour une certaine culture. Par la suite, le système doit être simplifié et les monocultures sont la meilleure solution. Toutefois, les prix de la machinerie sont exorbitants et une fois l'acquisition faite, elle doit être utilisée au maximum pour rentabiliser l'achat. Les recommandations de nature environnementale comme le fractionnement des apports en lisier, par la stratification dans la fosse, sont alors moins intéressantes. De plus, pour mettre en place ce système il faut sortir au champ plus qu'une fois durant la saison de croissance. Tout d'abord au printemps, en pré-levée où la strate contenant le phosphore est épandue, puis en post-levée pour épandre la strate contenant l'azote. Cette technique fait en sorte que les éléments nutritifs du lisier sont mieux prélevés que si une grande quantité de lisier est épandue en une seule fois (CRAAQ, 2011).

L'épandage en post-semis et en post-levée se traduit par des doses d'application réduites, en comparaison de celles appliquées en totalité à l'automne ou au printemps. Il peut être considéré comme le premier pas vers une valorisation optimale du lisier (Ball Coelho, 2005). Comme ce mode d'épandage est aussi associé à une réduction de la compaction du sol, au travail réduit du sol et au contrôle des nuisances, il est vu comme une technique optimale, si ce n'est de l'acquisition de nouvelle machinerie qu'il nécessite (Camberato, 2002; IRDA, 2003). Par contre, le temps nécessaire par ce mode d'épandage est grandement réduit, en comparaison à l'épandage traditionnel. L'agriculteur détient donc plus de temps à allouer à d'autres tâches en utilisant cette technique. De plus, dans le lisier, l'azote est à 65-75 % sous forme d'ammoniac et dans le sol, cet azote se transforme en nitrate, qui va combler les besoins de la culture (Côté, 2002). Cependant, si la nitrification se fait trop rapidement, il y a un risque de formation de protoxyde d'azote. C'est pourquoi le fractionnement des apports est une méthode durable. La plus petite quantité de lisier nécessaire diminue les risques d'accumulation de nitrates facilement lessivables dans le sol et la formation de protoxyde d'azote (IRDA, 2003).

La stratification modifie l'équilibre des autres éléments comme les ratios NH_4^+ : N total ou K : Mg. Le ratio NH_4^+ : N total est responsable de la valeur fertilisante de l'azote. Ce ratio peut être supérieur à 90 % dans la partie liquide des lisiers. Le ratio K : Mg est également primordial : il varie de quatre à six dans les lisiers non stratifiés alors qu'il peut atteindre 25 à 70 dans la fraction liquide des lisiers séparés (IRDA, 2003). De ce fait, il faut être prudent et vérifier les besoins en nutriments autres que l'azote des plantes avant de fertiliser avec la technique du fractionnement des apports. Un excès de potassium peut être aussi dommageable qu'une carence (Côté, 2002).

6.1.6 Compostage

Le compostage du lisier de porc est une méthode peu utilisée à ce jour aux États-Unis et même ailleurs. Ce procédé très utilisé dans d'autres sphères de l'agriculture est marginal en ce qui a trait aux EEI de porcs. L'USDA offre peu d'information sur le sujet ni aucune statistique sur son étendue. Par contre, bien que ce procédé soit relativement coûteux, le compostage du lisier de porc amène plusieurs avantages agronomiques et environnementaux, tels que la facilité et l'uniformité d'épandage pour les porcheries ayant des problèmes d'odeurs. (Béline et autres, 2012)

Le compostage reste une méthode qui peut être utilisée pour traiter le lisier brut ou seulement la strate solide de celui-ci. On y voit plusieurs avantages pour les producteurs porcins à traiter le lisier brut de

porc. En effet, par digestion aérobie, ce procédé réduit les odeurs et les pathogènes du lisier et produit un bon amendement pour améliorer les propriétés physiques du sol (Béline et autres, 2012). De nombreuses bactéries pathogènes comme *Escherichia coli* 0157 : H7, *Salmonella spp* et *Girardia lamblia* sont anaérobies (Burkholder et autres, 2007). Elles ne peuvent donc pas vivre en présence d'oxygène. De ce fait, le compostage qui s'élève à une température adéquate, avec un taux d'aération suffisant, est une bonne méthode pour éliminer ces pathogènes (CRAAQ, 2011)

Le résultat du compostage est que la partie organique active dans le lisier est transformée en un produit solide stabilisé, riche en composés humiques, qui peut être utilisé comme source de nutriments pour les cultures (Équiterre, 2010). L'ajout de compost améliore la structure du sol, augmente la matière organique, et améliore la croissance des plantes. (Béline et autres, 2012; Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2010). Par contre, étant donné la teneur faible en matière solide du lisier de porc, il est nécessaire d'ajouter un ou plusieurs autres substrats pour créer un compost de qualité. Ces substrats doivent être riches en carbone et, pour que le compostage du lisier de porc soit réussi, le rapport C/N du mélange doit être au-dessus de 25 % et l'humidité doit se situer entre 50 et 70 % (Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2010). Cependant, le compostage d'une suspension sans séparer les matières solides nécessite une grande quantité de substrat supplémentaire pour retenir le liquide. Cela est peu pratique en raison du coût de la matière à se procurer et de l'énergie nécessaire pour aérer le compost. Comme substrat, les producteurs porcins ajoutent habituellement des brans de scie, de la paille, des résidus de récolte, des écorces ou même du fumier de poules (Équiterre, 2010). Ces sources apportent du carbone disponible pour les bactéries et font en sorte que les pertes d'azote soient diminuées. Au contraire s'il n'y a pas un assez grand rapport de carbone, les pertes d'azote sont de 30 à 70 %. L'azote est perdu sous forme d'azote atmosphérique, sous forme ammoniacale (NH_3) et d'oxydes d'azote (N_2O , NO , NO_2). (Béline et autres, 2012) Selon Chantigny (2015), habituellement les quantités de protoxyde de diazote perdues sont trop importantes pour que le compostage de lisier de porc soit considéré comme une pratique durable. Ce gaz est le troisième plus important gaz à effet de serre rejeté dans l'atmosphère et a un pouvoir de réchauffement global 310 fois supérieur à celui du CO_2 . Ces émissions se produisent lorsque le mélange du compost est non homogène et/ou mal oxygéné. Ils sont alors responsables de la formation de smog, des pluies acides et de l'effet de serre. (Béline et autres, 2012)

Lorsque le procédé de compostage est terminé, le compost de lisier de porc a une concentration plus grande en éléments minéraux que le lisier brut. Ce résultat est dû à la perte d'eau et de matière sèche causé par la minéralisation des composés organiques, et ce même en considérant les pertes par

lixiviation et les pertes atmosphériques (Levasseur et Lemaire, 2006).

Différents procédés sont donc disponibles pour le compostage du lisier de porc. Une des caractéristiques les plus importantes à considérer dans le choix de la pratique est la siccité du lisier et le substrat carboné ajouté (Mazé et autres, 1996). Les techniques les plus utilisées sont les piles statiques avec aération forcée (système ouvert ou fermé) et les andains retournés mécaniquement (système ouvert). Ces deux technologies sont les plus économiques et leur efficacité a été démontré, de là leur popularité (Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2010).

Selon une analyse de la Fédération des producteurs de porcs du Québec (2010) :

« Économiquement le compostage de lisier de porc peut représenter un défi étant donné le besoin continu d'achat du substrat qui représente une proportion importante des coûts d'opération, soit plus de 50 %. De plus, la gestion du procédé implique la manutention d'un volume important de matériel d'où un coût de main-d'œuvre et de machinerie à considérer. Les coûts du compostage peuvent être partiellement amortis par la vente du compost. Aussi, d'un point de vue agronomique, les principaux impacts envisagés sont l'apport d'une quantité importante d'humus stable provenant majoritairement du substrat carboné requis par le procédé et la perte d'une quantité importante d'azote contenu dans le lisier brut (variant de 20 à 50 % selon la technique utilisée et la composition du mélange initial). »

En terminant, pour disposer de quantité excessive de lisier, il serait aussi possible de procéder à la location de parcelles supplémentaires, à des ententes d'épandage, à l'exportation du lisier ou à l'adhésion à un organisme de gestion des lisiers possédant une banque de superficies disponibles (Agonion, s.d.). Par contre, ces idées ne seront pas développées dans le cadre de cet essai, car délocaliser le problème n'est pas durable en soi. Dans le cas d'un producteur qui choisit l'une de ces options, les pratiques durables décrites précédemment devraient être mises en place pour s'assurer de la protection adéquate des écosystèmes.

Ainsi, selon les connaissances scientifiques, le meilleur scénario serait définitivement un fractionnement des apports de lisier épandu par injection en post-levée, jumelé avec la mise en place de cultures de couverture à l'automne pour empêcher qu'un potentiel surplus d'azote ne se lessive. À ceci devrait se rajouter la mise en place de bandes riveraines, si des cours d'eau sont à proximité. (Chantigny, 2015)

6.2 Valorisation énergétique

La valorisation des lisiers par épandage au sol reste définitivement la méthode de valorisation la plus utilisée aux États-Unis en raison des bénéfices qu'elle apporte aux cultures. Par contre, si les méthodes nécessaires ne sont pas mises en place pour sécuriser les pratiques, les résultats des bénéfices sont contrebalancés par des impacts négatifs. Dans ce cas, et lorsque la superficie disponible pour épandre les lisiers n'est pas suffisante, la valorisation énergétique du lisier devient une option intéressante pour les producteurs porcins.

Dans les porcheries, un des défis auquel les producteurs porcins sont confrontés quotidiennement est la gestion du lisier et des eaux usées nécessaire pour contrôler les odeurs et protéger l'environnement. Les systèmes de récupération de biogaz, aussi appelé système de biométhanisation, peuvent aider les producteurs à relever ce défi. Le procédé de biométhanisation génère deux co-produits : le lisier traité et le biogaz. Les bénéfices environnementaux fournis par ce système dépassent largement ceux qui sont fournis par les systèmes classiques de gestion du lisier par valorisation des éléments nutritifs. (EPA, 2002) Ces avantages incluent le contrôle des odeurs, le contrôle de la qualité de l'air et de l'eau, l'amélioration de la flexibilité de la gestion des éléments nutritifs, et la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, le biogaz fournit de l'énergie sous forme de chaleur pouvant également être transformée en électricité. L'électricité produite par le biogaz peut être utilisée sur place ou vendue au réseau, ce qui réduit grandement les coûts des services publics, et donne la possibilité d'accumuler des crédits carbone qui peuvent aider à compenser le coût de l'opération. (Moletta, 2003) Il est aussi possible, maintenant, de fournir de l'électricité aux piles à combustible pour les véhicules électriques. La lutte aux changements climatiques a mené au développement de plusieurs nouvelles technologies de valorisation du lisier et les pays d'Europe sont grandement en avance sur l'Amérique du Nord dans la mise en place de ces projets. (EPA Climate Leader, 2006)

Les systèmes de récupération de biogaz sont aussi appelés digesteurs anaérobies, parce qu'ils utilisent un processus biologique de digestion anaérobie. Cette technologie utilise la performance métabolique de bactéries anaérobies spécialisées pour digérer une grande variété de matières organiques. Les lagunes utilisées dans le sud des États-Unis pour entreposer le lisier liquide fonctionnent sur le même principe. Au cours de la digestion anaérobie, les bactéries décomposent le lisier dans un environnement exempt d'oxygène. (EPA, 2002) L'un des produits naturels de la digestion anaérobie est du biogaz, qui contient typiquement entre 60 et 70 % de méthane, de 30 à 40 % de dioxyde de carbone, et des traces d'autres gaz tels que l'hydrogène, le sulfure d'hydrogène et de la vapeur d'eau (Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2010). C'est le méthane qui rend l'utilisation du

biogaz possible pour la valorisation énergétique. Le processus de digestion décompose aussi les composés organiques volatils (COV), les graisses, les glucides et les protéines pour créer du biogaz.

Les COV sont généralement responsables des odeurs associées aux déchets. La digestion anaérobie en milieu contrôlé garantit un traitement complet de la matière organique, en plus de capturer et traiter les gaz à effet de serre et les COV qui autrement seraient relâchés dans l'air et créeraient de la pollution atmosphérique. Un autre point positif est que le procédé ne détruit pas les substances nutritives du lisier, ce qui permet à l'effluent d'être utilisé comme source d'engrais organique d'excellente qualité par la suite. (Bélanger, 2009; Béline, 2012)

6.2.1 Digesteurs anaérobies en opération sur des fermes porcines

Selon un document datant de mai 2015, seulement 39 digesteurs anaérobiques sont présentement en opération sur des fermes porcines aux États-Unis. Certains de ces systèmes de biogaz fournissent une certaine quantité d'électricité au réseau local, mais la plupart ne sont pas de très grande envergure, du moins pas de l'ampleur de ceux des fermes laitières, qui possèdent environ 200 digesteurs anaérobiques en opération. Par contre, ces 39 systèmes de valorisation énergétique réduisent les émissions de méthane de plus 480 000 tonnes métriques par année. (EPA, 2015c) Un des cas à succès est le projet *Waste no energy*® à Monticello en Indiana qui génère 4,2 millions de BTU d'énergie thermique par heure. Ceci est équivalent à 1 000 litres de propane par jour. Le digesteur de déchets produit 8 366 MWh d'électricité chaque année, ceci est suffisant pour alimenter 940 foyers en produisant 11 300 mètres cubes de biogaz chaque jour. Ce projet qui utilise le lisier de 4 300 porcs et vaches laitières fait aussi la production de 115 mètres cube d'engrais organique qui est vendu sous la marque *Green phoenix*™ fertilizer. (EPA, 2015c; Waste no Energy, 2015) Ce projet et quelques autres démontrent que les multiples échecs vécus par des centaines de producteurs dans les années 1980 à 2000 sont en train de s'inverser. En effet, les designs, l'aide financière et les rendements s'améliorent de plus en plus. (Bélanger, 2009)

Un des plus gros projets de digesteur anaérobie est celui qu'a entrepris Roeslein Alternative Energy en collaboration avec Smithfield Foods au Missouri. Plus de 80 millions de dollars US ont été investis pour mettre sur pied ce projet qui sera terminé à l'été 2016. Neuf parcs d'engraissement-finition contenant au total plus de 2 millions de porcs et 88 lagunes sont touchés. (Simmet, 2015)

La première phase de ce projet a nécessité l'installation de revêtements imperméables sur les 88 lagunes à lisier existantes. L'étape suivante consistera à la fabrication et l'installation d'un système de

purification de biogaz, dans le but d'amener la concentration en méthane à plus de 98 %. Puis le système de purification sera connecté au réseau de pipeline de gaz naturel exploité par ANR qui traverse les États-Unis du nord au sud. Il est estimé que le lisier produira environ 62,2 millions de mètres cube de biogaz, soit l'équivalent de 17 millions de litres de carburant diesel par an. Le lisier sera co-digéré avec de la biomasse de prairies restaurées afin de générer plus de biogaz. En effet, le lisier est un substrat dont le potentiel de production de méthane est parmi les plus bas dû à sa faible concentration en matière organique. C'est pourquoi la co-digestion s'impose. Cette stratégie permet d'intégrer un ou des substrats qui augmentent le potentiel de production de méthane. Des terres présentement utilisées pour l'agriculture industrielle, mais qui sont à risque d'érosion seront converties en prairies, en y plantant un mélange de graminées et d'espèces indigènes. La biomasse récoltée sur ces terres sera mélangée avec le lisier puis envoyée dans les lagunes. (Casey, 2014; Simmet, 2015)

6.2.2 Programmes aidant l'implantation de digesteurs anaérobies

Reconnaissant les avantages environnementaux du traitement des déjections animales par la méthanisation, l'EPA, en collaboration avec l'USDA et le département de l'énergie des États-Unis, a lancé le programme AgSTAR au début des années 2000 afin de relancer les projets de méthanisation à la ferme (EPA, 2007). Ce programme vise à fournir des références d'experts pour le design et le management, un guide d'élaboration de projet de méthanisation, des informations de base et plusieurs autres outils (EPA, 2015c).

Selon le département de l'énergie, il y a environ 250 digesteurs anaérobies sur des fermes aux États-Unis, qui produisent assez de biogaz pour alimenter environ 70 000 foyers américains. Par contre, le département de l'énergie estime qu'avec un soutien suffisant en termes de technologie et de marketing, il pourrait y avoir 11 000 systèmes de biogaz en fonctionnement. Tous ensemble, ces systèmes pourraient produire assez d'énergie pour environ 3 millions de foyers. (Casey, 2014; Voegele, 2014)

De ce fait, l'USDA, le département de l'énergie et l'EPA se sont alliés en 2014 pour créer le programme « opportunité biogaz ». Cette initiative a été mise en place entre autres grâce au plan d'action pour le climat du Président Obama en 2013. Ce projet vise à améliorer l'utilisation des systèmes de biogaz aux États-Unis en menant des recherches pour accélérer le développement de l'utilisation de biomasse, pour produire de l'énergie et des programmes de renforcement qui soutiennent les agriculteurs, pour la mise en place et le financement des digesteurs (Voegele, 2014).

Les trois agences vont également coordonner leurs efforts visant à standardiser l'intégration des biogaz animal dans le marché du gaz naturel fossile. Pour sa part, l'USDA dirigera l'amélioration de la collecte et l'analyse des données pour créer une plate-forme plus forte pour les subventions fédérales à l'appui des systèmes de biogaz. (EPA, 2015c)

6.2.3 Types de digesteurs

Tout système de méthanisation est constitué de quatre composantes de base. Un digesteur, un dispositif d'entreposage de l'affluent et de l'effluent, un réservoir pour l'entreposage et le traitement du biogaz et un système de combustion dépendamment le mode de valorisation du biogaz (EPA 2002). Plusieurs types de digesteurs existent et sont choisis en fonction des caractéristiques du lisier ou du fumier comme le pourcentage de solide, la fréquence de collecte et les options disponibles pour l'utilisation des biogaz récupérés.

Les designs les plus couramment utilisés pour les productions porcines sont les bassins anaérobies couverts, qui constituent en fait, le recouvrement de lagunes à lisiers avec un revêtement imperméable, puis l'intégration aux trois autres composantes du système de méthanisation. L'autre modèle le plus courant de digesteur pour les fermes porcines, est le digesteur infiniment mélangé qui consiste en un réservoir fermé, généralement cylindrique, dans lequel le substrat y est continuellement homogénéisé (Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2010). Certaines productions animales vont produire le biogaz en co-digestion en mélangeant le lisier de porc et le fumier de vaches laitières dans le but d'augmenter le pourcentage de matière solide et d'utiliser le digesteur de type « *plug flow* ». Ce dernier ne fonctionne qu'avec des substrats organiques dont la teneur en solides totaux est de 11 à 14 %. (EPA, 2002)

6.2.4 Effets environnementaux

L'EPA (2002) a mené une étude sur plusieurs fermes d'élevage qui détiennent différents types de digesteurs anaérobies et a examiné les avantages environnementaux et économiques de la gestion du lisier par la méthanisation contrairement à l'entreposage dans des lagunes (tableau 6.3). Il en résulte que les trois designs de digesteur anaérobie fournissent un excellent contrôle des odeurs, une grande réduction des gaz à effet de serre (GES) et une bonne protection de la qualité de l'eau.

Tableau 6.3 Comparaison de l'efficacité environnementale de différentes méthodes de gestion de lisiers de porcs (adapté de EPA, 2002)

| Options | Contrôle des odeurs | Réduction des GES | Protection de la qualité de l'eau | Coût approximatif ⁽²⁾ (\$/UA) |
|--|---------------------|-------------------|-----------------------------------|--|
| Digesteur anaérobie de type lagune couverte | E | E | B | 150-400 |
| Digesteur anaérobie infiniment mélangé | E | E | B | 200-400 |
| Digesteur anaérobie de type « <i>plug flow</i> » | E | E | B | 200-400 |
| Lagune aérée ⁽¹⁾ | B-E | E | M-B | 200-450 |
| Lagune régulière | P-B | P | P | 200-400 |

Légende : P = pauvre, M = moyen, B = bon, E = excellent, UA = unité animale.

(1) L'énergie nécessaire à l'aération des étangs augmente les coûts de 35 à 50 \$ par unité animale.

(2) Les coûts approximatifs n'incluent pas les coûts annuels d'opération et de maintenance.

Une étude de l'IRDA (2005) a démontré que « pour une ferme naisseur-finiisseur de 200 truies produisant 4 000 porcs par année et utilisant en totalité le biogaz en remplacement de combustible fossile, la réduction des émissions de GES pourrait atteindre 50 %, soit près de 300 tonnes de CO₂ eq ». De plus, pour les établissements en surplus de lisier par rapport aux besoins des terres, l'extraction des boues et leur déshydratation permettent d'exporter près de 50 % du phosphore dans un volume équivalent à environ 2 à 3 % du volume de lisier brut. Le lisier digéré et séparé présente alors un rapport N : P mieux adapté aux cultures. (CRAAQ, 2011)

D'ailleurs en 2000, après l'implantation du moratoire en Caroline du Nord, le procureur général de l'état à l'époque et Smithfield Foods Inc. ont conclu un accord. Smithfield devait payer pour la recherche sur les alternatives durables aux lagunes et aux champs de pulvérisation, dans le but ultime de les éliminer (Peach, 2014). Une fois la technologie durable et économiquement viable développée, Smithfield devait s'engager à les installer sur ses entreprises porcines. Suite au financement de 17 millions de dollars en recherche et 16 ans de travail, les lagunes sont pourtant toujours présentes sur leurs entreprises (Ansfield et Bradher, 2010). Selon les résultats de recherche, les solutions de rechange, tels que les digesteurs anaérobies, coûteraient cinq fois plus à mettre en place dans les

entreprises existantes, que le système de lagune actuel. Les résultats de l'EPA présentés plus haut et ceux de Smithfield Food Inc. sont donc totalement opposés. Aujourd'hui, la quasi-totalité des 2 100 fermes porcines de la Caroline du Nord entreposent toujours le lisier dans les lagunes ouvertes et laissent de côté la valorisation énergétique. (Nicole, 2013)

Au contraire en Chine, la recherche de nouvelles technologies qui réduisent les odeurs et les fuites potentielles dans les sources d'eau est devenue une priorité nationale pour le pays. Un recensement de la pollution en 2010 a révélé que la pollution agricole, et en particulier le lisier et le fumier des exploitations d'élevage est une source majeure de pollution de l'eau, même plus que les industries. (Ansfield et Bradher, 2010) Aussi surprenant que ce peut l'être, l'agriculture n'avait jamais été incluse dans les recensements de pollution auparavant. La découverte que l'agriculture est responsable de 44 % de la DCO, 67 % des rejets de phosphore et 57 % des rejets d'azote à créer une onde de choc en Chine. En réponse à ce constat, le ministère chinois de l'agriculture a décidé d'investir plus de 66 millions de dollars US pour développer l'utilisation de technologies de production de biogaz. D'ici 2020, le plan du ministère de l'agriculture chinois est d'avoir participé à la construction de plus de 80 millions nouveaux digesteurs anaérobies au sein des ménages et 10 000 nouveaux digesteurs qui fourniront de l'électricité à grande échelle. En 2010, moins de 1 % des élevages détenaient cette technologie. (Watts, 2010)

Par ailleurs, en 2013 Smithfield Food Inc. a été acquise par la plus grande entreprise porcine au monde, la compagnie Chinoise *Shuanghui International Holdings Ltd*, maintenant connue sous le nom de *WH Group*. L'acquisition a été faite pour la somme de 7,1 milliards de dollars US. Le groupe détient maintenant un porc sur quatre produits aux États-Unis, ce qui fait en sorte que les communautés les plus pauvres de la Caroline du Nord subissent les impacts négatifs sur l'environnement et sur leur santé de la mauvaise gestion des lisiers et la compagnie chinoise récolte les profits. D'ailleurs la Chine n'utilisent pas de lagunes ouvertes dans leur pays, étant une méthode trop risquée et polluante selon les autorités. (Nicole, 2013; Wing et Johnston, 2014) Ils utilisent un procédé d'élimination du lisier qui sépare la phase solide de la phase liquide et les entreposent dans des lagunes oxydées. Certaines de leurs fermes utilisent un système de digesteur où les bassins sont couverts pour produire de l'électricité. (Ansfield et Bradher, 2010)

6.2.5 Contraintes de la valorisation énergétique

Malgré les retombées environnementales et économiques positives des digesteurs anaérobiques, ils sont encore une alternative marginale de traitement des déjections animales aux États-Unis. Dans les

30 dernières années, la majorité des projets ont connu peu de succès et beaucoup de ratés. En effet, il y a plusieurs projets comme celui de Smithfield BioEnergy à Milford au Utah, qui a vendu son usine en 2008 pour cause d'insuffisance de nutriments dans le lisier. (Casey, 2014) La centrale transformait le lisier en bio-méthanol, puis le convertissait en carburant de biodiésel. Toutefois, la concentration en nutriments du lisier de porc était 50 % sous les estimations gouvernementales publiées. La compagnie a attribué de pareils résultats à des facteurs tels que l'amélioration de la génétique de leurs animaux, l'amélioration de la conversion des aliments, le volume d'eau réduit utilisé dans le système de production et les régimes formulés précisément pour réduire l'excrétion de nutriments. Beaucoup d'autres ratés sont dus à la non rentabilité financière à la suite des investissements massifs ou au manque d'experts pour guider les opérations. (Homan et autres, 2014)

De surcroît, les éleveurs de porc font face à un grand obstacle relativement à la bio-méthanisation. Le rendement volumétrique de méthane, qui est le volume de méthane produit par volume de lisier ajouté au digesteur, est assez faible pour le lisier de porc. Sans expertise de professionnels, les digesteurs dans les productions porcines risquent d'être inefficaces (Bélanger, 2009). Les producteurs de porcs peuvent surmonter cet obstacle en utilisant des réacteurs spécialement conçus pour le lisier dilué, qui épaississent le lisier, avant qu'il ne pénètre à l'intérieur, ou en ajoutant d'autres matières pour faire de la co-digestion. La co-digestion du lisier de porcs avec des résidus agroalimentaires tels que les résidus d'abattoirs et les matières résiduelles domestiques putrescibles bonifient le rendement énergétique des bioréacteurs en améliorant le rapport C : N. De plus, il est possible d'imposer une tarification pour la prise en charge de ces résidus. En outre, il est évident qu'étant donné que le lisier de porc peut donner de moins bons résultats que d'autres substrats pour la digestion anaérobique, les producteurs doivent accentuer leurs efforts dans le bon fonctionnement de leur projet. (Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2010)

7 FREINS À LA MISE EN PLACE DES MÉTHODES DURABLES

Les méthodes durables introduites précédemment sont adoptées par une faible minorité de producteurs porcins aux États-Unis (Ribaud, 2015). Pourtant, la plupart de ces procédés et technologies comportent de nombreux avantages autant économiques qu'environnementaux ou sociaux, en plus d'être largement connus des producteurs. Du point de vue économique, certaines méthodes sont meilleur marché que les méthodes traditionnelles de gestion des lisiers et la majorité éliminent les odeurs nauséabondes et diminuent la pollution, ce qui crée inévitablement un meilleur voisinage. Toutefois, les pratiques ne semblent pas être sur le point de changer radicalement à brève échéance et ce malgré tous les cas de bouleversements écologiques majeurs qui sont survenus aux États-Unis dans les dernières décennies. Pour cette raison, il est crucial de s'intéresser aux causes de cette inaction face à ces alertes grandissantes. C'est en comprenant d'abord les obstacles qu'il est possible d'apporter des changements dans les pratiques. Dans le milieu de la production porcine, deux éléments ont récemment changé et ils semblent avoir des impacts significatifs sur la volonté de changement des producteurs porcins.

7.1 Monopole des grandes compagnies

Il y a deux termes qui décrivent bien l'évolution de la production porcine aux États-Unis : intégration horizontale et intégration verticale. Pour une entreprise, l'intégration horizontale est un terme économique qui consiste, entre autres, à étendre son réseau en acquérant des entreprises concurrentes, avec pour conséquence de diminuer la compétition. (Wise et Trist, 2010) Par exemple, la compagnie Tyson Foods Inc. a acquis la compagnie Iowa Beef Processors Inc. pour 3,2 milliards USD en 2001. Cette dernière était la deuxième compagnie la plus importante dans le marché de la transformation du porc aux États-Unis, après Smithfield Foods Inc. (Barbosa et Sorkin, 2001) Dans le même ordre d'idées, si une société d'agriculture est intégrée verticalement, elle est impliquée dans plus d'une phase de la filière. Beaucoup de ces grandes entreprises détiennent leurs propres parcs d'engraissement, des abattoirs, des compagnies de transport, des usines de agroalimentaires, et parfois même leurs propres fermes céréalières, en plus de certains magasins au détail. Cela signifie que ces entreprises intégrées verticalement ont un contrôle complet sur plusieurs, sinon toutes les phases de la filière porcine et font un profit à chaque étape. (Lammers et autres, 2007 et Wise et Trist, 2010) Par exemple, la compagnie Smithfield Inc. est verticalement intégrée et est en charge de tout ce qui concerne les porcs de la naissance à l'abattage, incluant la transformation et l'emballage. Cette situation est appelée dans le milieu : « contrôle de la naissance au bacon ».

À l'échelle nationale, au cours des deux dernières décennies, l'industrie de l'élevage porcine a connu un changement fulgurant vers la consolidation. En 1985, les quatre plus grandes sociétés productrices

de porcs aux États-Unis représentaient 32 % du marché. En 2010, la consolidation du secteur a mené à ce que ces quatre sociétés contrôlent 73 % du marché (figure 7.1). (Food and Water Watch, 2015 et Lowe et Gereffi, 2008) En outre, en 2007, Smithfield Food Inc. a acquis Premium Standard Farms, qui était la 2^{ème} plus grande entreprise productrice de porcs aux États-Unis. La fusion a eu un effet majeur aux États-Unis et a même amené le Département de la Justice à se questionner sur la diminution de la compétitivité dans le domaine de l'agriculture. (Wise et Trist, 2010) Cette transaction a fait en sorte que les producteurs de porcs indépendants en Caroline du Nord, en Caroline du Sud et en Virginie n'avaient plus qu'un seul choix d'acheteur pour leurs porcs; Smithfield Food Inc. Ce dernier peut donc dicter les prix du marché à sa convenance. L'unique autre solution pour les producteurs est d'expédier leurs porcs en dehors de la région pour les vendre. Pour trouver une offre compétitive pour leurs animaux, les agriculteurs doivent expédier leurs porcs à plus de 650 km vers l'entreprise de agroalimentaire la plus proche, soit bien au-delà des 250 km qui est la moyenne sur le marché.

Tableau 7.1 La part du marché américain de porcs de cinq compagnies (adapté de Lowe et Gereffi, 2008)

| Compagnie | Part du marché américain |
|--------------------------|---------------------------------|
| Smithfield Foods Inc. | 31 % |
| Tyson Foods Inc. | 19 % |
| JBS Swift & Company | 11 % |
| Cargill/Excel Fresh Meat | 9 % |
| Hormel Foods Corporation | 7 % |

Les types d'entreprises généralement impliquées dans ce type d'agriculture industrielle ne sont plus considérés comme de simples fermes, elles sont maintenant désignées en tant qu'agro-industries (*agribusiness*). Les profits annuels de ces compagnies sont de l'ordre de plusieurs milliards de dollars. Ces agro-industries reposent sur deux principes : l'agriculture contractuelle et l'intégration verticale. (Lowe et Gereffi, 2008) Ces systèmes sont largement responsables de la transition vers la consolidation dans le secteur agricole et ont tendance à être néfastes pour les agriculteurs, autant pour ceux qui sont restés en dehors du système de l'agriculture industrielle que pour ceux qui sont devenus une partie de celui-ci et qui ne sont maintenant que de simples employés. (Key et McBride, 2007) Avec l'élevage à contrat, les producteurs porcins sont propriétaires de leurs bâtiments, mais ne sont plus propriétaires de leur entreprise, de leurs porcs et sont à la merci des intégrateurs quant à leur destinée financière.

Food & Water Watch (2012; 2015) a constaté qu'au cours des trois dernières décennies, les comtés de l'Iowa qui ont vendu le plus de porcs et avaient les plus grandes exploitations porcines présentaient une baisse des revenus à l'échelle du comté, en plus d'un ralentissement de la croissance du revenu moyen des ménages et une baisse du nombre d'entreprises locales par rapport à la moyenne à l'échelle de l'état. Les producteurs de l'Iowa ont vendu deux fois plus de porcs en 2010 (47,3 millions) qu'en 1982 (23,8 millions), mais la valeur réelle totale des ventes de porcs de l'Iowa était 12 % plus basse en 2010. Par conséquent, comme l'industrie porcine est devenue de plus en plus consolidée et les fermes porcines de l'état sont devenues plus grandes et plus intégrées, la valeur des porcs pour l'économie locale a diminué (Hayes et Li, 2007).

Généralement, les élevages intégrés fonctionnent comme ceci : une entreprise porcine majeure (l'intégrateur) fournit à la ferme la nourriture et un grand nombre de porcs qui viennent d'être sevrés à environ 14 à 20 jours. Cela permet à l'intégrateur de contrôler la race et tous les intrants. Le fermier élève des animaux jusqu'à ce qu'ils aient atteint le poids de mise en marché, après quoi l'entreprise recueille, abat et distribue le produit. (Bolomey, 2015 et Laforest, 2015) La propension à l'intégration verticale au sein de l'industrie de l'élevage est majoritairement attribuable à la décision des intégrateurs de diminuer les coûts (Wise et Trist, 2010). Les usines de transformation dans les dernières décennies nécessitent de recevoir continuellement des quantités élevées de porcs pour être rentable. Un abattoir américain standard peut traiter jusqu'à 30 000 porcs par jour, ce qui équivaut à près de dix millions de porcs par année. De 1997 à 2010, le pourcentage des porcs produits sous contrat avec un intégrateur est passé de 5 à 67 %. (National Hog Farmer, 2011; Wise et Trist, 2010).

Bien que ce système garantisse aux agriculteurs un marché pour leur produit, il crée également un risque financier énorme. Les agriculteurs doivent payer pour tous les intrants et absorber toute perte financière de rejet de produit si la qualité ne respecte pas les normes de la compagnie, comme par exemple l'épaisseur de gras dorsal qui ne correspond pas aux critères exigés ou encore les animaux qui meurent durant la production ou le transport (Laforest, 2015 et USDA, 2009). Les agriculteurs investissent souvent des capitaux considérables pour construire les bâtiments où sont logés les animaux selon les spécifications des intégrateurs et pour payer les systèmes informatiques à la fine pointe de la technologie qui contrôle le climat et la nourriture pour les animaux. Les investissements sont remboursés pendant des dizaines d'années. L'agriculteur est également responsable du suivi des règlements d'élimination des déchets et des autres lois de protection de l'environnement. L'entreprise « intégratrice » n'a alors aucune de ces responsabilités à sa charge. (Steinfeld et autres, 2010)

En outre, le pourcentage des aliments consommés par les porcs qui sont produits sur place a chuté de 50 % en 1992, à moins de 20 % en 2004 (Key et McBride, 2007). Le contrat entre le producteur et l'intégrateur stipule que la majorité du temps, la nourriture doit être fournie par l'intégrateur. Cela permet aux producteurs d'utiliser leur temps et leurs ressources financières pour augmenter l'échelle de leur entreprise porcine plutôt que de cultiver leur terre. En conséquence, les terres cultivées par unité animale dans les exploitations porcines ont diminué de façon constante passant de 0,87 hectare en 1998 à 0,57 hectare en 2004, et à 0,35 hectares en 2009. Le pourcentage des opérations sans terres cultivées est passé de 8 à 19 % au cours de cette période. Cette augmentation a créé des inquiétudes sur la façon de gérer les grandes quantités de lisier produites dans les exploitations porcines avec moins de terres arables disponibles par unité animale. (Key et autres, 2011)

En vertu des contrats typiques, les sociétés laissent aux producteurs la responsabilité de leur lisier. La majorité de ceux-ci, vivant avec des salaires toujours plus bas offerts par les compagnies intégratrices, ne sont pas en mesure de payer eux-mêmes pour de nouvelles technologies, sans un support financier de l'état. C'est ce que confirme une étude de l'Université Duke en Caroline du Nord en affirmant que cette structure du contrat est un obstacle considérable aux méthodes durables de gestion du lisier (Allen et autres, 2007).

En terminant, le sociologue William Heffernan a constaté que les bénéfices provenant d'un producteur indépendant ont un effet multiplicateur de trois à quatre dans une communauté locale. Cependant, les bénéfices issus d'une ferme appartenant à une entreprise quittent la communauté locale presque immédiatement. Une autre étude a ressorti que pour les exploitations d'élevage intensif, le pourcentage dépensé localement, soit à moins de 25 kilomètres de l'industrie, diminue de façon spectaculaire avec la croissance de l'opération. Ainsi, il y a une différence significative pour les communautés rurales entre produire un grand nombre de porcs et avoir un grand nombre de producteurs de porcs. (Heffernan et autres, 1999; Stockstad, 2008)

7.2 Emplois

L'industrie porcine américaine offre plus de 547 800 emplois. Ceci inclut toutes les sphères, allant de la production, aux abattoirs, à l'agroalimentaire, à la distribution et la vente. Les producteurs occupent 63 000 de ces emplois et fournissent plus de 23 milliards de livres de porcs par année. (National Pork Producers Council, 2013)

L'industrie porcine est en constant développement aux États-Unis et ce développement va de pair avec l'apparition de plusieurs problèmes sociaux. L'une des problématiques les plus importantes constituent le fait qu'une grande partie de la main-d'œuvre agricole est composée de travailleurs migrants et saisonniers et que nombreux d'entre eux sont des immigrants récents en provenance d'Amérique latine. Le problème ne vient pas du fait que la majorité des travailleurs sont migrants, mais plutôt que dans l'industrie porcine, on retrouve également une grande majorité de travailleurs qui sont des migrants illégaux (Bureau of Labor Statistic, 2015; National Pork Producers Council, 2013). Ces derniers sont sans-papiers, ce qui les rend vulnérables d'accepter n'importe quelles conditions de travail à n'importe quel salaire. De nombreux abus ont été observés et documentés, mais la plupart sont passés sous silence (Human Rights Watch, 2005).

Les taux de blessures dans l'industrie du conditionnement de la viande (qui comprend les abattoirs, les usines transformation alimentaire, l'emballage et la distribution) sont trois fois plus élevés que l'ensemble des autres industries. Les emplois en abattoirs ont été nommés comme étant le travail en usine le plus dangereux aux États-Unis par le *Human Rights Watch* (2005). Cette industrie continue d'employer une majorité de travailleurs sans-papiers. Dans les années 1900, on retrouvait principalement des immigrants de l'Europe de l'Est et des Afro-Américains comme travailleurs du secteur de la viande. Aujourd'hui, beaucoup sont hispaniques, du Mexique, de l'Amérique Centrale et du Sud. Les zones isolées où sont situés ces abattoirs et ces productions porcines sont parfois peuplées en grande majorité par ces populations migrantes et délaissées par les Américains, en raison de la précarité et la dangerosité de ces emplois (Lowe et Gereffi, 2008). Ces éléments font en sorte que ces populations sont plus isolées et vivent dans des communautés à faible revenu et moins bien informées sur les conditions de travail auxquelles elles ont droit. De plus, cette situation explique le taux élevé de rotation des employés qui peut atteindre parfois 100 % par année (Schlosser, 2001). D'après Bolomey (2015), la barrière de la langue est aussi difficile à surmonter. En effet, lors d'une entrevue effectuée à la ferme *Bolomey Pork* à Gilepsie en Illinois, la totalité des 28 employés travaillant à la ferme de truies en gestation étaient des travailleurs sans-papiers venus du Mexique. À la question sur la formation aux employés sur la gestion des lisiers et sur les soins apportés aux truies gestantes, le producteur a répondu que le taux de rotation était trop élevé pour prendre du temps de bien les former et que d'ailleurs, les employés ne comprenaient pas assez bien l'anglais.

En outre, étant donné que la majeure partie de ces emplois sont peu rémunérés et plusieurs sont occupés par des immigrants illégaux plutôt que par la population locale, les effets positifs de la création d'emplois sur les communautés locales sont restreints. Dans les régions rurales où la production porcine bat son

plein, les emplois sont de faible qualité et les salaires trop bas pour ces emplois considérés comme dangereux. Ces localités deviennent peu attrayantes pour des industries durables offrant des emplois mieux rémunérés, à venir s’y installer. (Allen et autres, 2007; Stokstad, 2008)

7.3 Autres freins à l’implantation de méthodes durables

Plusieurs autres raisons inter-reliées (figure 7.1) sont mises en cause en regard à l’inaction reliée à la pollution grandissante par les lisiers. Effectivement, les grandes entreprises porcines démontrent peu de motivation à faire pression en ce qui a trait à l’amélioration et aux changements de pratiques (Henderson, 2015). Mais ce n’est pas tout. La question environnementale occupe une infime place dans la liste des priorités de la population, en raison de la situation sociale et économique déficiente de la population et le bas niveau d’éducation des travailleurs du milieu de l’élevage (USGAO, 2008).

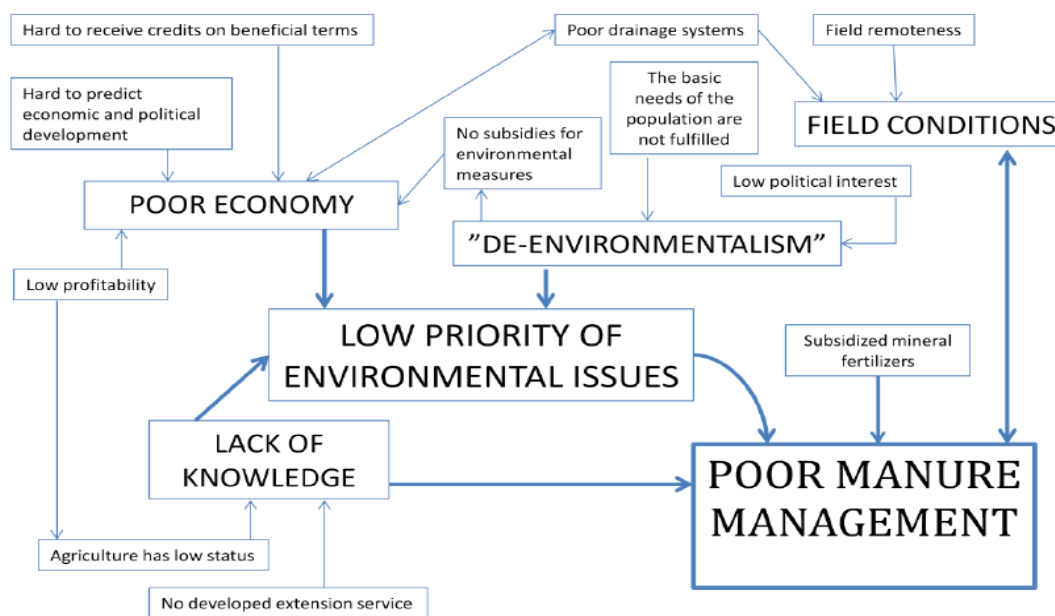


Figure 7.1 Les multiples raisons de mauvaise gestion du lisier (tiré de Lindgren, 2013)

Aussi, les comtés avec de forte concentration d’élevage porcin sont souvent des lieux où les entreprises porcines sont les principaux employeurs. En Caroline du Nord, la compagnie Smithfield Food Inc. emploie à elle seule plus de 46 000 personnes. La prévalence de l’industrie porcine dans certains comtés signifie que presque toute la population est connectée de près ou de loin à l’entreprise porcine. (Nicole, 2013; USGAO, 2008) Il est alors plus délicat de confronter l’entreprise avec des requêtes pour une meilleure protection environnementale, ou encore moins d’intenter une poursuite en justice contre leurs pratiques pour nuisance. Comme le dit le proverbe, « on ne mord pas la main qui nous nourrit ».

Parallèlement, la législation fédérale n'apporte aucune aide significative pour que la situation s'améliore. On observe peu de surveillance fédérale de ces opérations d'élevage et seulement 40 % des 20 000 grandes exploitations d'élevage porcin aux États-Unis sont réglementées en vertu du CWA (Ribaud et autres, 2011). En effet, seulement les EEI conçues pour décharger directement dans les cours d'eau ou autres sources d'eau fédérale sont tenus de demander des permis fédéraux en vertu de la CWA (Peach, 2014). La situation n'est guère mieux du côté de la législation des états, car dans les états de la Caroline du Nord et de l'Iowa, beaucoup d'inspecteurs responsables de la surveillance de la gestion du lisier ont perdu leur emploi dans les dernières années. Il y a, par le fait même, une diminution de personnel en charge d'assurer le respect des règlements et également moins d'aide techniques aux agriculteurs (USGAO, 2008). Un autre élément important relevé est en regard aux subventions dérisoires accordées pour les mesures environnementales qui sont loin d'être un incitateur positif pour les éleveurs. Depuis les années 1980, les subventions reliées à la conservation en agriculture ont augmenté de 500 %, mais le financement d'aide technique n'a augmenté que de 60 % (Shortle et autres, 2012). Tous ces éléments mis ensemble illustrent bien la très faible motivation du gouvernement à s'impliquer dans un changement en faveur de l'environnement. Les ressources gouvernementales diminuent alors que l'élevage s'intensifie, ce qui nous laisse croire que l'agriculture est reléguée au second plan.

D'autre part, depuis que l'entreprise Smithfield Food Inc. a investi dans la recherche de nouvelles pratiques alternatives il y a de cela 15 ans et qu'elle a échoué, le gouvernement ne demande pas aux industries de financer d'autres recherches. Malgré le fait qu'il y ait de plus en plus d'études (Burkholder et autres, 2007; Mallin et autres, 2000; Wing et autres, 2002) documentant les impacts des lagunes et de la contamination par le lisier, la correction du système ne semble pas faire partie de la liste actuelle des priorités du gouvernement. Certains états ont même mis en place des règlements interdisant aux nouveaux résidents dans un quartier de déposer des poursuites de nuisance contre les élevages porcins. Une autre modification proposée exigerait que les résidents perdant leur cause de nuisance qu'ils remboursent les frais juridiques des exploitations poursuivies. Depuis 2014, les états deviennent aussi beaucoup moins transparents. Ils omettent de divulguer le nombre de plaintes portées contre les fermes porcines. On affiche plutôt seulement celles qui ont abouti à des avis de violation. (Ribaud et autres, 2011; Nicole, 2013; Peach, 2014; Food and Water Watch, 2015)

Parallèlement, les lobbys de l'industrie de la viande gagnent en puissance (Ribaud, 2011). Dans l'éventualité de violation des réglementations environnementales, les probabilités de sanctions juridiques restent plutôt faibles. La raison principale est surtout que la réglementation présente certaines

faillies et qu'elle n'est souvent pas appliquée correctement, en raison du manque d'inspecteurs ou simplement qu'elle ne s'applique pas à l'élevage comme le CAA. Toutefois, s'il arrive qu'une entreprise doive payer une amende pour violation, il semble plus facile et plus économique de payer les frais pour cette violation, même plusieurs fois, que d'apporter les améliorations nécessaires.

En terminant, que l'on parle de la situation économique des éleveurs, des contrats des intégrateurs, des travailleurs illégaux ou des règlements non appliqués, il ressort clairement que plusieurs freins entravent actuellement la mise en place de gestion durable du lisier. Les rapprochements et l'union des différents acteurs seront essentiels pour voir émerger une situation plus positive. La protection environnementale ne devrait pas entraver la productivité d'une ferme et être une barrière au développement économique. Les multinationales, comme l'entreprise Smithfield Food Inc., devraient être des compagnies avant-gardistes et être des leaders du développement durable en exigeant de hauts standards aux éleveurs et en rendant disponible des moyens financiers pour leur permettre d'atteindre les objectifs visés. En utilisant des méthodes durables à grande échelle, telle que la fabrication de biogaz, ces technologies deviendraient plus accessibles financièrement, rayonneraient dans tout le pays et pourraient se propager plus rapidement.

8 CONSTATS

La prolifération d'algues, la salmonelle et l'*E. Coli*, la contamination des eaux souterraines et les mauvaises odeurs ne sont que quelques-uns des problèmes causés par le lisier porcin en excès. À petites doses, il constitue un excellent engrais pour les plantes, mais lorsqu'il est mal géré, il peut devenir un désastre environnemental. Par le fait même, la gestion durable des lisiers est dorénavant un problème pressant dans un pays producteur de quantité aussi considérable de porcs que les États-Unis. (Béline et autres, 2012; Chantigny et autres, 2006)

Ainsi, plusieurs éléments relevés dans cet essai affectent directement et indirectement la gestion des lisiers et créent des enjeux importants qui doivent être abordés par les acteurs de la production porcine, les législateurs et les gens affectés par cette industrie. Par ailleurs, la production animale aux États-Unis est évaluée à plus de 100 milliards de dollars US par année et ne cesse de prendre l'ampleur (USDA, 2015b). De nouvelles innovations technologiques et l'avantage économique de l'augmentation de la taille des entreprises ont entraîné un virage structurel des petites aux grandes opérations, passant de l'agriculture vivrière d'il y a quelques décennies aux bâtiments de confinement pouvant accueillir aujourd'hui plusieurs milliers d'animaux. De ce fait, la quantité de lisier et de fumier produit aux États-Unis est estimée à plus de 335 millions de tonnes de matière sèche par an (Simmet, 2015). Ainsi, les terres agricoles disponibles à proximité des élevages ne sont plus suffisantes pour l'épandage d'une telle quantité de déchets à valoriser et le défi d'utiliser le lisier sur les terres agricoles tout en protégeant l'environnement est dorénavant accru et devient critique.

À la lumière de ces observations, il est possible d'affirmer que la situation se dégrade continuellement et devient de plus en plus inquiétante. Les exemples de déversements de lisier apportés dans ce travail le démontrent bien et ne sont malheureusement pas des incidents isolés. On les voit s'accroître avec l'intensification de la production porcine et le risque de catastrophe n'est pas exclu. Déjà, au cours des deux dernières années, plusieurs déversements de lisier de porcs se sont produits en Iowa, en Géorgie et en Illinois entre autre. D'ailleurs, en octobre 2015, une ferme porcine dans le comté de Callaway, Missouri, a eu un déversement de 37 855 litres de lisier dans un ruisseau et une lagune sur ferme du comté de Greene en Caroline du Nord a déversé 378 500 litres de lisier. (Peach, 2014)

Plusieurs enjeux sont en cause et doivent être abordés quant à la question de la gestion actuelle des lisiers aux États-Unis. Un de ces enjeux constitue la distance entre les agriculteurs et les gens qui consomment leurs produits. En effet, le monde agricole est assez méconnu, entre autres parce que les gens demeurent majoritairement dans les grands centres urbains et avec les supermarchés, ils n'ont

plus besoin d'avoir de contact avec les agriculteurs. Cela signifie que peu de gens connaissent vraiment le fonctionnement des EEI. Les informations à portée de main sont souvent incomplètes et ne reflètent pas la situation des éleveurs, les rendant coupables de pollution et d'abus envers les animaux. C'est une des raisons pour laquelle l'acceptabilité sociale pour les productions porcines est si basse auprès du public (Parent, 2015). En réalité, depuis l'implantation des EEI, la responsabilité de cette pollution n'est pas seulement imputable aux éleveurs, mais aussi aux intégrateurs. Par contre, ces derniers, qui détiennent les moyens financiers, relèguent la gestion environnementale aux producteurs contractuels, qui en majorité, n'ont pas d'importants leviers financiers. En faisant équipe avec les producteurs, les entreprises intégratrices comme Smithsfield Food Inc, Tyson Foods, JBS-Swift et Cargill pourraient arriver à une meilleure performance environnementale. De toute évidence la croissance économique est la force motrice pour ces entreprises. Cela signifie une production plus efficace, mais la qualité des produits, des emplois et de l'environnement en souffre. En plus, il se concentre un pouvoir de marché dans les mains de quelques-uns, au détriment des petits exploitants (Wise et Trist, 2010). Parce que les marges bénéficiaires sont serrées dans l'industrie de l'élevage et de la production de viande, les entreprises désirent faire des économies d'échelle. Cela signifie qu'ils essaient de produire plus avec une plus grande efficacité et à un coût moindre et l'aspect environnemental est un des premiers à en souffrir (Food and Water Watch, 2010).

Parallèlement, la multiplication des EEI depuis les trois dernières décennies soulève des inquiétudes de la part du public autant du point de vue de la protection environnementale que de la santé. Les craintes tournent spécialement autour de la contamination de l'air, de l'eau, des sols et de l'utilisation généralisée et en grande quantité d'antibiotiques et d'hormones. Il est assumé que d'aussi grandes concentrations d'animaux ont des impacts significatifs. Plusieurs études ont été réalisées et sont en cours pour investiguer ces problématiques, mais il est certain que les problèmes varient d'une région à l'autre et dépendent du nombre d'animaux et de la quantité de lisiers et fumiers produits par les élevages (Agonion, s.d.). La question de la santé des travailleurs et des personnes vivant à proximité des EEI est aussi à l'étude (Wings et Johnston, 2014). Ce dernier point dépend grandement du type de technologie et du procédé de traitement du lisier et aussi du temps et de la qualité du travail de gestion que les employés de production porcine investissent à cette tâche.

Historiquement, il y a eu peu de recherches sur les effets sur la santé des personnes qui vivent ou travaillent près des productions porcines, où la qualité de l'eau et de l'air est souvent moindre. Les études ont surtout porté sur l'efficacité de la production porcine plutôt que sur les effets secondaires négatifs de cette industrie (Food and Water Watch, 2015). Mais au cours des dernières années, des

environnementalistes, des universitaires et des défenseurs de la santé publique ont commencé à documenter les impacts. Une étude a constaté qu'à des niveaux élevés, certaines bactéries fécales des porcs retrouvées dans des cours d'eau à proximité des élevages porcins peuvent causer l'hépatite, la typhoïde, la dysenterie et d'autres problèmes de santé (Burkholder, 2007; Mallin, 2000; Sneeringer, 2009).

Des études par le *US Geological Survey* et la *Chesapeake Bay Foundation* ont révélé que plus de 60 % des bassins versants dans l'est de la Caroline du Nord avec des exploitations d'élevage porcin à proximité détiennent des niveaux plus élevés de nutriments et d'ions majeurs que les bassins versants loin d'élevage porcin (Chesapeake Bay Foundation, 2004; Heaney et autres, 2015; USGS, 2015). D'autres études indiquent maintenant que les gens habitant à proximité d'élevage porcin sont atteints de plusieurs effets de santé inquiétants tels que :

- Diminution de la mémoire (Schinasi, 2011);
- Augmentation du taux de mortalité infantile (Sneeringer, 2009);
- Taux d'asthme plus élevé chez les enfants (Pavilonis et autres, 2013);
- Nausées (Schinasi, 2011);
- Pression artérielle plus élevée (Wing et autres, 2013).

Ce travail n'a pas comme objectif d'inculquer toutes les responsabilités aux EEI. En effet, les EEI peuvent faire preuve d'une gestion impeccable de leurs déchets, en respectant et même en faisant plus que la législation le demande. D'un autre côté, il est aussi possible que de plus petites exploitations porcines aient une gestion non durable des lisiers et des eaux usées. Toutefois, la multiplication des EEI et la quantité d'extrants à gérer rendent les possibilités de pollution et les risques de contamination plus graves et plus courants.

Un autre aspect frappant de la production porcine est la superficie énorme de terres arables utilisées pour la monoculture de maïs et de soya destinés à l'alimentation porcine (Larsen, 1998), qui nécessitent plusieurs intrants, tels que les pesticides et les engrais minéraux. La quantité de récoltes consommées par les porcs en EEI est associée à un gaspillage indirect incroyable qui découle de la perte d'efficacité de transformation de protéine végétale en protéine animale. Selon Stuart (2009), les animaux d'élevage consomment trois fois plus de nourriture qu'ils en produisent pour l'alimentation humaine. De plus, la consommation de viande par les humains ne cesse de croître. Sur ce point, il est évident que la faute ne revient pas seulement aux industries; l'augmentation de la consommation de

viande est un choix personnel et les industries répondent à une demande des consommateurs. Par contre, c'est la manière de production qui repose sur elles.

Par ailleurs, les coûts relativement bas de la viande ne reflètent pas les coûts sociaux et environnementaux réels. Les externalités de la production porcine ne sont pas internalisées dans les coûts. Effectivement, la pollution associée aux monocultures et aux déchets animaux dans plusieurs régions américaines ont des effets qui se font ressentir sur la santé des gens vivant dans ses régions (UNEP, 2013). Selon le rapport du *United Nation Environmental Programs*, l'industrie de l'élevage est l'industrie la plus dommageable pour l'environnement, avec celle du charbon et du pétrole. Les coûts en énergie et en quantité d'eau utilisée, à eux seuls, s'ils étaient réellement payés par les industries porcines, seraient responsables de leur faillite. En effet, ce rapport démontre que cette industrie ne ferait aucun profit si elle internalisait les coûts environnementaux et sociaux de sa production. Ceci n'est pas si surprenant en sachant que l'élevage animal aux États-Unis consomme 56 % de l'eau annuellement. Ceci équivaut à plus de 128 à 287 milliards de litres d'eau par année, faisant en sorte que l'industrie de l'élevage utilise même plus d'eau que la fracturation hydraulique, qui est très présente aux États-Unis. (Steinfeld et autres, 2010)

D'ailleurs, les coûts associés aux effets néfastes d'une mauvaise gestion du lisier porcin sur le système de santé, étant subventionné en partie par les budgets publics, devraient être pris en considération. De plus, les contribuables financent les subventions gouvernementales qui vont principalement aux grandes exploitations industrielles (Nicole, 2013; Scarborough, 2014) Ces dernières ont malheureusement changé la dynamique des régions rurales américaines et la réalité d'aujourd'hui n'est pas toujours reluisante. En effet, tel que mentionné précédemment, la consolidation d'entreprises a fait en sorte que les fermes familiales porcines ont tranquillement disparu pour être remplacées par des EEI gérés par des intégrateurs. Cette situation a entraîné la faillite de plusieurs fermes et a apporté une réduction des salaires moyens et ainsi créée des emplois précaires et dangereux attirant des travailleurs migrants qui n'ont pas beaucoup d'autres alternatives (Allen et autres, 2007). L'industrie porcine est donc liée à la pauvreté et aux inégalités raciales. (Steinfeld et autres, 2010; Turner et Rabelais, 2003)

Avec une population mondiale croissante qui consomme de plus en plus de porc, il est impératif que l'industrie de l'élevage porcin évolue dans la bonne direction et se responsabilise face aux impacts à court et à long terme de ses actions. Les tendances montrent un volume croissant de porcs élevés et transformés chaque année par une plus petite concentration d'entreprises aux États-Unis (Steinfeld et autres, 2010). Ces deux tendances, ainsi que les effets environnementaux négatifs

de l'élevage porcin industriel et la législation environnementale faible, amènent les États-Unis vers un sombre futur.

9 RECOMMANDATIONS

La production porcine industrielle aux États-Unis n'est pas prête de disparaître. Elle est même en expansion constante (Wise et Trist, 2010). Ceci dit, il devient impératif de changer certains aspects qui vont à l'encontre du développement durable de cette industrie. Que ce soit, du point de vue économique, social, mais tout particulièrement environnemental, des changements massifs s'imposent.

En premier lieu, la considération du lisier comme un déchet par les producteurs doit cesser. Particulièrement, si le lisier est vu comme un fardeau au lieu d'une ressource, les producteurs auront tendance à vouloir s'en débarrasser de n'importe quelle façon que ce soit et ne miseront pas sur des types de valorisations durables. En agriculture, une meilleure gestion des sols et des différents types de fertilisants ainsi que le renforcement de la protection des bandes riveraines, sont souvent cités parmi les meilleures solutions pour améliorer la qualité des cours d'eau (Bédard, 2013; Buffler, 2005). Les méthodes durables de gestion des lisiers détaillées plus haut ressortent comme des solutions efficacement prouvées.

Étant donné l'ampleur de la production porcine américaine, il s'avère indispensable de mettre en place les techniques de gestion durable. Cependant, il serait aussi intéressant d'évaluer la possibilité d'un retour aux élevages porcins de plus petites tailles. Le marché de la viande biologique et locale gagne rapidement en popularité et les consommateurs sont de plus en plus conscients de leur empreinte écologique causée par leur consommation de viande. L'idée que le régime alimentaire n'est pas seulement une affaire personnelle et que chaque repas a des conséquences réelles sur les humains, l'environnement, la biodiversité et le climat commence à être plus généralisée (Chemnitz et Becheva, 2014).

D'autant plus que selon une publication publiée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture :

« La voie d'avenir pour nourrir le monde consiste à employer une agriculture durable. Plus précisément, à promouvoir un mode de production biologique à petite échelle. Opter pour une alimentation biologique et locale consiste à se nourrir de manière saine, mais aussi d'encourager le maintien de la qualité des sols, de l'air et de l'eau » (FAO, 2006)

De ce fait, la consommation de viande n'a pas à être développée de manière à endommager l'environnement et porter atteinte au climat. Au contraire, l'utilisation appropriée des terres agricoles par les animaux apporte des avantages environnementaux dont il faut prendre avantage.

Du côté des ménages, une des meilleures façons de diminuer significativement les émissions de GES, l'utilisation de grandes quantités d'eau et l'empreinte environnementale est de diminuer la consommation quotidienne de viande. Une alimentation d'origine animale est au minimum dix fois plus intensive en énergie qu'un régime végétarien. Même que Scarborough et autres (2014) estiment qu'une personne qui suit un régime végétalien produit 50 % moins de dioxyde de carbone, utilise 1/11^{ème} du pétrole, 1/13^{ème} de l'eau et 1/18^{ème} de terre comparativement à quelqu'un qui consomme de la viande. Alors que pour un végétarien, le résultat passe à 1/6^{ème} des ressources en comparaison à une personne qui consomme de la viande. De plus, ce n'est que depuis peu de temps que la quantité individuelle de viande consommée a augmenté. Selon le National Hog Farmer (2011), il apparaît récemment que les enfants américains consomment deux fois plus de viande que leurs parents au même âge et quatre fois plus que leurs grands-parents. Aujourd'hui l'eau, les forêts, le sol, le climat et la biodiversité pourraient facilement être protégés en réduisant la quantité de viande consommée et en encourageant une production durable. Revenir à l'élevage à plus petite échelle pourrait apporter une contribution importante à la réduction de la pauvreté, de meilleures conditions de travail et de vie et une alimentation également plus saine (Scarborough et autres, 2014).

Il est grand temps d'instaurer une approche entièrement différente en délaissant les gains à court terme et en privilégiant plutôt la rentabilité à long terme. Effectivement, il devient impératif d'investir dans une technologie éprouvée telle que les digesteurs anaérobies. Ces derniers présentent des coûts d'achat et d'installation passablement élevés, mais ils permettent aux producteurs d'avoir des gains financiers pour rembourser les investissements, puis un revenu à long terme. Ce qui ne s'avère pas le cas de la machinerie d'épandage de lisier exigeant pourtant des sommes considérables.

Une approche durable inclurait l'implantation de certaines de ces suggestions :

- L'élimination des subventions aux grandes industries et l'ajustement de taxes afin que les prix reflètent les coûts environnementaux réels et encouragent l'utilisation efficace des ressources;

- L'utilisation des règlements de zonage et des taxes afin de décourager de grandes concentrations de production intensive près des villes et loin des terres cultivées où les nutriments pourraient être recyclés;
- La définition et l'application des normes pour les rejets d'effluents;
- Des incitations plus importantes à investir dans la technologie pour réduire la pollution;
- La mise en place des programmes de certification pour encourager les pratiques d'élevage durables;
- L'établissement de lignes directrices, de normes de qualité et de mécanismes de suivi pour la commercialisation des engrais produits. (Lindgren, 2013)

En outre, les législateurs devraient établir des systèmes plus efficaces de collectes d'informations relatives aux effets sur l'environnement des activités des EEI et approfondir leur connaissance sur des enjeux aussi cruciaux que la présence d'antibiotiques, d'hormones et de certains pathogènes dans le lisier. La surveillance périodique de la réglementation et de l'application de la loi devrait aussi être renforcée. (USGAO, 2008)

Ainsi, les nombreuses recherches essayant de trouver des solutions miracles, telle que la phytase microbienne pour réduire la concentration en nutriments dans les excréments de porcs, ou les modifications génétiques, ne sont que des pansements pour un problème beaucoup plus grand. Le réel problème n'est pas le contenu des excréments de porcs, mais bien le nombre de porcs. Le type d'élevage industriel pratiqué n'est tout simplement pas durable. Le fait que les porcs soient élevés à l'intérieur, loin de leur source de nourriture, et qu'ils n'aient pas assez de terre à proximité pour absorber leurs excréments, ne pourra jamais être amélioré, sans être totalement changé.

En terminant, les nombreux exemples énumérés dans ce travail montrent clairement que le recours à des lagunes et des champs de pulvérisation nuit à la santé des communautés avoisinantes et polluent l'environnement de multiples façons (Jones et autres, 2006; Wing et autres, 2002). L'EPA et l'USDA doivent s'unir pour bannir cette méthode d'entreposage qui n'apporte aucun avantage positif, tant du point de vue environnemental, social qu'économique. Sans compter que l'utilisation des champs de pulvérisation plutôt que la valorisation du lisier sur des cultures démontre clairement que la concentration de porcs dépasse la capacité de support du milieu récepteur. Un système durable limite le nombre d'animaux produits au même endroit pour générer uniquement la quantité de lisier qui peut être valorisé. Pour cette raison, des élevages durables génèrent beaucoup moins de pollution et sont beaucoup moins à risque d'impacts environnementaux.

De plus l'EPA met l'emphasis sur les sources ponctuelles de pollution dans les eaux de surface sans tenir compte du préjudice causé par les lagunes sur la qualité de l'air, alors que l'on sait que les polluants atmosphériques sont aussi responsables de la dégradation de la qualité de l'eau de surface (Shortle, 2012). En moyenne 80 % de l'azote des lagunes se volatilise dans l'air sous forme d'ammoniac pendant l'entreposage ou l'application au sol (van Es et autres, 2004). La déposition subséquente de cet ammoniac dans les cours d'eau ou les eaux côtières est nocive pour la vie aquatique et dégrade grandement la qualité de l'eau (Alexander et autres, 2008). Par contre le bannissement des lagunes impliquerait une désaffectation des lagunes par des professionnels, suivi du traitement du lisier ou de son épandage en quantité adéquate sur des cultures. L'EPA pourrait établir une limite de temps maximum pour la désaffectation des lagunes, comme c'est le cas lorsqu'une mine est fermée. Les coûts engendrés par ces changements devraient être à la charge de la compagnie intégratrice. (Jones et autres, 2006) Un autre aspect critique relié aux EEI qui doit s'améliorer est le CAA. Il est impératif que cette loi soit remaniée de sorte que les élevages animaux soient inclus dans cette loi.

En terminant, en fonction des analyses de sol, un moratoire régissant les cheptels devrait être mis en place dans certains états. Aussi, la classe politique devrait se positionner en faveur d'une agriculture locale et de qualité plutôt que de miser sur la quantité et l'exportation massive.

CONCLUSION

Malgré les récents changements structurels majeurs dans la production porcine, qui ont transformé l'élevage de porc en industrie, cet essai démontre que plusieurs méthodes de gestion durables des lisiers peuvent être instaurées. La production à l'échelle industrielle n'apparaît pas comme étant celle qui s'accorde le mieux avec la protection environnementale. Cependant, il semble certainement possible de trouver un compromis entre l'augmentation des gains financiers et la conservation environnementale. De nombreux efforts sont faits par différents acteurs du milieu de l'élevage, mais ils restent toujours marginaux. Les États-Unis, étant le troisième plus grand pays producteurs de porcs au monde auraient avantage à s'inspirer des pays d'Europe sur plusieurs aspects de la production, allant du bien-être animal, à la gestion environnementale.

L'objectif de cet essai était de déterminer les méthodes durables de gestion de quantités industrielles de lisier de porcs aux États-Unis, d'évaluer les freins à l'implantation de ces pratiques et de réfléchir sur la technique la plus appropriée pour améliorer cette situation qui devient urgente. Le portrait de la production porcine aux États-Unis a été présenté dans le but de mieux comprendre le contexte entourant la gestion des lisiers. Par la suite, les propriétés du lisier de porc pour la valorisation par épandage ainsi que ses contraintes ont été détaillées. Certaines parties de ce travail visaient à faire ressortir les impacts environnementaux, sociaux et économiques de la gestion des lisiers de porc aux États-Unis. Une synthèse des méthodes efficaces et durables des gestions des lisiers et leur potentiel à répondre aux défis de la production porcine américaine a également été décrite ainsi que les freins à la mise en place de ces techniques ont été évaluées afin de démontrer l'existence de solutions possibles. En terminant, des constats sur la cohérence entre les connaissances scientifiques et les modes de gestion actuelles ont été émis.

Ce qui ressort de cette analyse est, entre autres, que des méthodes d'entreposage du lisier comme les lagunes sont des méthodes désuètes et dangereuses autant pour la santé des résidents, des travailleurs que pour les écosystèmes. Les différentes industries alimentaires répètent souvent que des efforts sont faits pour être en mesure de nourrir une population grandissante, mais continuent à utiliser des méthodes obsolètes et nuisibles comme les lagunes et les champs de pulvérisation. Il est regrettable qu'après plusieurs années de recherche les autres moyens d'entreposage et de disposition du lisier aient été rejetés pour des raisons économiques. Étant la plus grande entreprise porcine au monde, Smithfield Food Inc. devrait avoir à internaliser les externalités de sa production. Il ne fait aucun sens que des industries de la sorte ne paient pas le prix réel de leur produit, nuise à la population et fassent des profits de plusieurs milliards par année. De ce fait, de grands changements sont nécessaires du côté politique aux États-Unis. La loi sensée protéger l'eau des EEI présente d'importantes failles et aucune loi ne protège l'air.

Ainsi, les changements espérés concernent aussi la taille des élevages, qui devraient contenir moins d'animaux concentrés au même endroit. Des moratoires devraient être mis en place dans les régions en surplus d'éléments nutritifs, ce qui pourrait inciter les producteurs à avoir des cheptels plus petits. Avec la volonté d'agir et de s'engager véritablement dans la transition de l'élevage industriel vers l'élevage plus local, durable et diversifié, les États-Unis auraient une occasion de se distinguer pour par rapport à la réduction de leur empreinte écologique et d'en récolter les résultats sur le bien-être, la santé et la prospérité financière de sa société. L'équilibre entre une agriculture durable, le besoin de nourrir une population croissante et consommant davantage de viande constituent une problématique fort complexe. C'est pourquoi cette situation nécessite une implication et une concertation grandissante de la part des différents acteurs afin de concevoir des décisions à long terme.

S'orienter vers un développement durable et associer l'environnement et l'agriculture devient crucial pour la sécurité alimentaire future. Pour le moment, l'agriculture est vue davantage comme une industrie dont les dirigeants sont des gestionnaires de multinationales stimulés par l'économie, la rentabilité et non le respect de l'environnement pour un meilleur bien-être de tous. Par contre, une économie rentable à long terme ne peut se faire sans un environnement sain.

Nous devons trouver des solutions pour éveiller l'intérêt de toutes les sphères de la population et ainsi démontrer l'urgence d'intervenir pour cesser cette destruction de notre environnement et pour pouvoir amorcer un traitement qui nous oriente vers une réadaptation lente et progressive de cette terre merveilleuse qui nous habite et nous nourrit.

RÉFÉRENCES

- Agonion, B. (s.d.). La gestion du lisier – Stockage, transfert et épandage. In Agriculture et territoires – Chambre d’agriculture de la Nouvelle-Calédonie. In médias.
http://www.canc.nc/uploads/media/Gestion_du_lisier_01.pdf (Page consultée le 21/02/2016)
- Agricultural Bill of 2014. H. R. 2642
- Ahmed, S. I., Mickelson, S. K., Perderson, C. H. et Baker, J. A. (2013). Swine manure rate, timing, and application method effects on post-harvest soil nutrients, crop yield, and potential water quality implications in a corn-soybean rotation. Agricultural and Biosystems Engineering Publications. Paper 378.
- Alameda County Ressource Conservation District. (2003). Managing manure: the role of riparian buffers. In portals. In Equine.
http://www.acrcd.org/Portals/0/Equine%20Fact%20Sheets/Equine_Riparian_Buffer.pdf (Page consultée le 21/02/2016)
- Albrecht, J. (2002). Reduction Of Manure Nutrient Concentrations. In Clemson University. In Cooperative Extension. In Livestock and forage. In CAMM, In swine training manual. In chapter 3b.
https://www.clemson.edu/extension/livestock/camm/camm_files/swine/sch3b_03.pdf (Page consultée 15/10 2015)
- Alexander, R. B., Smith, R. A., Schwarz, G. E., Boyer, E. W., Nolan, J. V. et Brakebill, J. W. (2008). Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin. In PubMed. In Environment, science and technology.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18323108> (Page consultée le 23/02/2016)
- Allen, S, Goetz, M. et Maradei, N. (2007). North Carolina hog farming: from family farms to corporate factories. Essai dans le cadre du MBA, University of North Carolina’s Kenan-Flagler Business School, Chapel Hill, NC, 12 p.
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). (2005). Manure production & characteristics standard. ASAE D384.2 MAR2005, 20 p.
- Andersen. D. (2015). Does hog size impact manure production? In National Hof Farmers. In Environment. <http://nationalhogfarmer.com/environment/does-hog-size-impact-manure-production> (Page consultée le 27/04 2016)
- Ansfield, J. et Bradsher, K. (2010). China Report Shows More Pollution in Waterways. The New York time, 9 février.
- Armstrong, T. A., Kremer, B. T. et Marsteller, T. A. (2005). Effects of ractopamine step-up use programs on finishing pigs fed under commercial conditions. J Swine Health Prod, vol. 13, no 2, p. 66-71.
- Atia, A., Haugen-Kozyra, K. et Amrani, M. (2008) Manure Research Findings and Technologies: From Science to Social Issues. In Alberta government. In Agriculture and forestry.

- [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/epw8313/\\$FILE/chapter7.pdf](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/epw8313/$FILE/chapter7.pdf)
(Page consultée le 24/02/2016)
- Ball Coelho, B. R., Roy, R. C. et Bruin, A. J. (2005). Optimization of Liquid Swine Manure Sidedress Rate and Method for Grain Corn. *Agronomy Journal*, vol. 97, no 5, p. 1322-1332
- Bandekar, P., Leh, M., Bautista, R., Matlock, M. D., Thoma, G. et Ulrich, R. (2014). Life cycle analysis of swine management practices. <http://lcafood2014.org/papers/262.pdf> (Page consulté le 05/10 2015)
- Barbosa, D. et Sorkin, A. (2001). Tyson to acquire IBP in \$3.2 Billion deal. *New York Times*, 2 janvier, p. 6.
- Bédard, Y. (2013). Drainage et aménagements hydro-agricoles – Améliorer nos rendements grâce à l'égouttement des sols. In *agrireseau*. In *Grandes cultures*. In documents.
<http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/documents/amenagementhydroagricolesyves%20bedard.pdf>
- Bélanger, F. (2009). Étude de faisabilité techno-économique et sociopolitique d'un projet régional de méthanisation de lisier de porc en codigestion. *Essai de maîtrise en environnement*, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 136 p.
- Béline, F., Delaby, L., Vertès, F., Rochette, P., Morvan, T., Parnaudeau, V., Cellier, P. et Peyraud J.-L. (2012). Transformation, devenir et valorisation de l'azote : des effluents d'élevage aux systèmes de cultures. In INRA.
<http://inra.dam.front.pad.brainsonic.com/ressources/afile/223277-92bc0-resource-expertise-flux-d-azote-rapport-complet.html> (Page consultée le 02/04 2016)
- Bolomey, J. (2015) Discussion au sujet des productions porcines aux États-Unis. Communication orale. Entrevue menée en personne par Justine Lacombe Bergeron avec Jeff Bolomey, propriétaire d'une production porcine travaillant à contrat pour Borjic Hog, 18 août 2015, Gillespie, IL.
- Breune, I. (2003). La rotation des cultures : de la théorie à la pratique (Expérience de l'entreprise Hummus-sol Inc.). In *agrireseau*. In PDT. In documents.
http://www.agrireseau.qc.ca/pdt/documents/breune_isabelle.pdf
- Buffler, S. (2005). Synthesis of Design Guidelines and Experimental Data for Water Quality - Function in Agricultural Landscapes in the Intermountain West. Thèse de doctorat, Utah State University, Salt Lake City, Utah, 60 p.
- Bureau of Labor Statistics. (2014). May 2014 National Industry-Specific Occupational Employment and Wage Estimates - NAICS 311600 - Animal Slaughtering and Processing.
http://www.bls.gov/oes/current/naics4_311600.htm#45-0000 (Page consultée le 05/10 2015)
- Burkholder, J., Libra, B., Weiner, P., Heathcote, S., Kolpin, D., Thorne, P. et Wichman, M. (2007). Impacts of Waste from Concentrated Animal Feeding Operations on Water Quality. *Environmental health perspective*, vol. 115, no 2, p. 308-312.

- Camberato, J. (2002). Land application of swine manure. In Clemson University. In Cooperative Extension. In Livestock and forage. In CAMM, In swine training manual. In chapter 5a. https://www.clemson.edu/extension/livestock/camm/camm_files/swine/sch5a_03.pdf (Page consultée le 23/10 2015)
- Casey, T. (2014). Big Livestock Biogas Blowout Blows Up, Up, And Away: 11,000 New Biogas Systems Targeted. In Clean Technica. <http://cleantechnica.com/2014/08/02/livestock-biogas-program-sets-new-goal/> (Page consultée le 28/03 2016)
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. (2011). Guide de référence en fertilisation. 2e édition, Québec, 473 p.
- Chantigny, M., Angers, D. A., Pomar, C., Tremblay, J. et Morvan, T. (2005). Impact environmental et valeur agronomique du lisier de porc en culture maïs-grain : Calcul du bilan azoté réel au champs par le marquage isotopique à l'azote-15 (^{15}N). Rapport final, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec. 40 p.
- Chantigny, M., Angers, D. A. et Pomar, C. (2006). Que devient l'azote du lisier après l'épandage? Deuxième partie. Porc Québec, vol. 17, no 2, p. 56-59.
- Chantigny, M., Angers, D. A., Rochette, P., Pomar, C. et Pelster, D. E. (2014). Evidencing overwinter loss of residual organic and clay-fixed nitrogen from spring-applied ^{15}N -labelled pig slurry. Canadian Journal of Soil Science, vol. 94, no 1, p. 1-8.
- Chantigny, M. (2015). Discussion au sujet des méthodes de gestion durable du lisier de porc. Communication orale. Entrevue menée en personne par Justine Lacombe Bergeron avec Martin Chantigny, Chercheur en biochimie du sol et éléments nutritifs pour Agriculture et Agroalimentaire Canada, 25 Septembre 2015, Québec, Qc.
- Chastain, J. P., Camberato, J. J., Albrecht, J. E. et Adams III, J. (2002). Swine Manure Production and Nutrient Content. In Clemson University. In Cooperative Extension. In Livestock and forage. In CAMM, In swine training manual. In chapter 3a. https://www.clemson.edu/extension/livestock/camm/camm_files/swine/sch3a_03.pdf (Page consultée le 26/10 2015)
- Chastain, J. et Henry, S. (2002). Management of Lagoons and Storage Structures for Swine Manure. In Clemson University. In Cooperative Extension. In Livestock and forage. In CAMM, In swine training manual. In chapter 4. https://www.clemson.edu/extension/livestock/camm/camm_files/swine/sch4_03.pdf (Page consultée le 26/10 2015)
- Chemnitz, C. et Becheva, S. (2014) Meat Atlas : Facts and figures about the animals we eat. In Heinrich Böll Foundation. Ecology. Green living. <https://www.boell.de/en/2014/01/07/meat-atlas>
- Chesapeake Bay Foundation. (2004). Manure's Impact on Rivers, Streams and the Chesapeake Bay - Keeping Manure Out of the Water. In Chesapeake Bay Foundation. <http://www.cbf.org/document.doc?id=137> Page consultée le 20/04 2016
- Clean Air Act. 42 U.S.C. §7401 et seq. (1970)

- Clean Water Act. 33 U.S.C. §1251 et seq. (1972)
- Conner, J. F. (2001). Biosecurity becomes necessity for 21st century pig production. *Swine Health Epidemiol*, special biosecurity issue, National Institute for Animal Agriculture, No 1, vol. 5.
- Cooley, E., Ruark, M. et Panuska, J. (2013). Tile Drainage in Wisconsin: Managing Tile-Drained Landscapes to Prevent Nutrient Loss. In University of Wisconsin – Extension. <http://fyi.uwex.edu/drainage/files/2012/06/3-Managing-Tile-Drained-Landscapes-to-Prevent-Nutrient-Loss-DF.pdf> (Page consultée le 08/03 2016)
- Copeland, C. (2012). Clean Water Act: A Summary of the Law. In Indiana government. Agriculture and business. http://www.in.gov/idem/files/rules_erb_20130213_cwa_summary.pdf
- Côté, D., Giroux, M., Ndayegamiye, A et Guertin, S. P. (2002). Période d'épandage des engrais de ferme et risque environnemental. In Institut de recherche et de développement en agroenvironnement.
- Dillaha, T.A. III et Inamadar, S. P. (1997). Buffer Zones as Sediment Traps or Sources. In Haycock, N. E., Burt, T. P., Goulding, K. W. T. et Pinay, G., *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection* (chapitre 4 p. 33-42). Hertfordshire, UK.
- Direction générale de la recherche Agriculture et Agroalimentaire Canada (DGRAAC). (1998). Stratégie de recherche sur la gestion du lisier de porc au Canada. In Gouvernement du Canada. Publications. Notre Catalogue. <http://publications.gc.ca/site/fra/9.632227/publication.html>
- Draper, B. (2010). Jury awards plaintiffs \$11 million in hog suit. *The Wichita Eagle*. 5 Mars.
- Duke University. (2009). Hog Farming overview. In North Carolina in the global economy. <http://www.ncglobeconomy.com/hog/overview.shtml> (Page consulté le 05/10 2015)
- Eller, E. (2014). Sides clash over hog facility expansions in Iowa. In Des Moines Register. In Agriculture. <http://www.desmoinesregister.com/story/money/agriculture/2014/06/08/hog-facility-expansion-clash/10190855/> (page consultée le 08/10 2015)
- Équiterre. (2010). Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée. Montréal, Équiterre, 359 p.
- Fédération de l'UPA de Saint-Hyacinthe. (2004). Guide sur la faune. 106 p. http://www.upamonteregion.ca/Fichiers/Fichiers_144.pdf (Page consultée le 26/1 2015)
- Fédération des producteurs de porcs du Québec. (2005). Fiche technique No. 5 – Rampes d'épandage. In Éleveurs de porcs du Québec. In UPA. In Fédérations. http://www.leaseleveursdeporcsduquebec.com/upa_porc_files/federations/pdf/centre_de_d oc/6-2-4_Fiche_Rampe.pdf (Page consultée le 20/02/2016)
- Fédération des producteurs de porcs du Québec. (2010). Guide des technologies de traitement de lisier de porcs – Rapport Final. In Éleveurs de porcs du Québec. In UPA. http://www.leaseleveursdeporcsduquebec.com/upa_porc_files/producteurs/pdf/rapport_final_15octobre20101.pdf (Page consultée le 05/12/2015)

- Fischer, R. A. et Fischenich, J. C. (2000). Design Recommendations for Riparian Corridors and Vegetated Buffer Strips. In U.S. Army Corps of Engineer. In Environmental laboratory. [[http:// www.wes.army_mil/el/emrrp/pdf/sr24.pdf](http://www.wes.army_mil/el/emrrp/pdf/sr24.pdf)] (Page consultée le 25/02/2016)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). Livestock's long shadow - Environmental issues and options. In Food and Agriculture Organization of the United Nations. Publication. Animal production. <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
- Food and Water Watch. (2012). The economic cost of food monopolies. In food and Water Watch. In report. <https://www.foodandwaterwatch.org/sites/default/files/Food%20Monopolies%20Report%20Nov%202012.pdf>
- Food and Water Watch. (2015). Factory farm map. In U.S. Department of Agriculture Census of Agriculture data. <http://www.factoryfarmmap.org/#animal:hogs;location:US;year:2012> (Page consultée le 05/10 2015)
- Gagnon, E., et Gangbazo, G. (2007). Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau. 17 p.
- Gegner, L. (2004). Hog production alternatives. In USDA. In National Center for Appropriate Technology. In National sustainable agriculture information service. http://smallfarms.wsu.edu/education/pierce/ssfr2010/Lesson%209_Sustainable%20Livestock%20&%20Poultry/hog.pdf (Page consultée le 25/04 2016)
- Glanville, T. (2001). Measurement of Leakage from Earthen Manure Structures in Iowa. In Iowa State University. In Agricultural and biosystem engineering. http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1263&context=abe_eng_pubs (Page consultée le 02/11 2015)
- Goulfier, G. (2015). 7 astuces naturelles contre les adventices. In Rustica. In Articles. In Jardin bio. <http://www.rustica.fr/articles-jardin/7-astuces-naturelles-contre-adventices,2236.html>
- Groves, C. (2012). To Promote Compliance with the Clean Water Act, the EPA Should Pursue a National Enforcement Initiative to Regulate Concentrated Animal Feeding Operations. In Berkley Univeristy. <http://scholarship.law.berkeley.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1993&context=elq> (Page consultée le 29/01 2016)
- Halde, C., Gulden, R.H. et Entz, M.H. (2014). Selecting Cover Crop Mulches for Organic Rotational No-Till Systems in Manitoba, Canada. *Agronomy Journal*. Vol.10, no 2134, 11 p.
- Hamilton, D. W., Luce, W. G. et Heald, A. D. (1997). Production and Characteristics of Swine Manure. In Archive of Agri-Environmental Programs in Ontario. In Bioenergy and manure mangement. In Downloads. http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/F-1735_swine_man_char_OK.pdf (Page consultée le 27/10 2015)

- Hatfield, J. L., Brumm, M. C. et Melvin, S. (1998). Swine Manure Management. In U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Uses of Municipal, Animal, and Industrial byproducts. <http://www.ars.usda.gov/is/np/agbyproducts/agbycontents.htm>
- Hayes, A. F. et Li, C. (2007) Using heteroskedasticity-consistent standard error estimators in OLS regression: An introduction and software implementation, *Behavioral Research Methods*, vol. 39, no. 4, p.709 -722.
- Heaney, C. D., Myers, K., Wing, S., Hall, D., Baron, D. et Stewart, J. R. (2015). Source tracking swine fecal waste in surface water proximal to swine concentrated animal feeding operations. *Science of the total environment*, vol. 511, p. 676-683.
- Heffernan, W., Hendrikson, M. et Gronski, R. (1999). Consolidation in the food and agriculture system. In Food circle Missouri. <http://www.foodcircles.missouri.edu/whstudy.pdf> (Page consultée le 25/03 2016)
- Hegg, R. O. (2005) Trends in animal manure management research: CRIS data base. In North Caroline State University. In Academics. In colleges and departments. In College of agriculture and life science. In Waste management center. [https://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/natlcenter/sanantonio/Richard%20Hegg\(Trends\).pdf](https://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/natlcenter/sanantonio/Richard%20Hegg(Trends).pdf) (Page consultée le 1/11 2015)
- Henderson, B. (2015). NC hog farm neighbors seek court help to stop the stink. *The Chralotte Observer*, 1er Janvier.
- Hernandez, J. A., Vetsch, J. A et Everett, L. A. (2012). Swine manure application timing: results of experiments in southern Minnesota. In University of Minnesota. In Agriculture. In Manure management and air quality. In Manure applications. <http://www.extension.umn.edu/agriculture/manure-management-and-air-quality/manure-application/docs/manure-timing.pdf> (Page consultée le 23/02/2016)
- Homan, E., Shaw, M. D., Barlette, H. et Persson, S. (2014). Biogas from manure. In PennState Extension. In Natural ressources. <http://extension.psu.edu/natural-resources/energy/waste-to-energy/resources/biogas/projects/biogas-from-manure> (Page consultée le 21/03 2016)
- Human Right Watch. (2005). Blood, Sweat, and Fear Workers' Rights in U.S. Meat and Poultry Plants. In Report. In 2005. In USA. <http://www.hrw.org/reports/2005/usa0105/usa0105.pdf> (Page consultée le 05/10 2015)
- Iowa Department of Natural Ressources. (S.D). Manure management requirements for confinement operations. In Environmental protection. In Land quality. In Animal feeding operations. In Confinements. <http://www.iowapork.org/wp-content/uploads/2015/06/141222-manure-management-requirements-for-confinement-operations-2.pdf> (Page consultée le 20/02/2016)
- Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). (2003). Mémoire de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. - Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec. In Bape. In Production porcine. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO303.pdf> (page consultée le 12/11/2015)

- Institut de recherche et de développement en agroenvironnement IRDA. (2005). Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec. Rapport déposé au MDDEP. 94 p.
- Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Parkin, G., Lauzon, J. et Fan, M. Z. (2010). Transformations and losses of swine manure 15N as affected by application timing at two contrasting sites. *Canadian journal of soil science*, vol. 90, no1, p. 55-73.
- Jokela, B., Magdoff, F., Bartlett, R., Bosworth, S. et Ross, D. (2004). Nutrient Recommendations for Field Crops in Vermont. In University of Vermont. In Departement of plant and soil science. In Crop and soil. In Soil, nutrients and manure. http://pss.uvm.edu/ag_testing/VTNutrientRecFieldCrops1390.pdf (Page consultée le 28/09 2015)
- Jones, D., Koelsch, R., Muktar, S. et Sheffield, R. (2006). Closure of Earthen Manure Structures (Including Basins, Holding Ponds and Lagoons). *Animal agriculture and the environment*. Vol. 8, no 19, p. 263-282.
- Karlen, D., Cambardella, C. A. et Kanwar, R. S. (2004) Challenges of Managing Liquid Swine Manure. In Iowa State University. Digital repository. In publications. In Agricultural and biosystems engineering. http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1769&context=abe_eng_pubs (Page consultée le 1/11 2015)
- Key, N. et McBride, W. (2007). The Changing Economics of U.S. Hog Production. In United States Department of Agriculture. In Media. <http://www.ers.usda.gov/media/244843/err52.pdf> (Page consultée le 05/10 2015).
- Key, N., McBride, W., Ribaud, M. et Sneeringer, S. (2011) Trends and Developments in Hog Manure Management: 1998-2009. In United States Department of Agriculture. In Publications. In EIB: Economic Information Bulletin. http://www.ers.usda.gov/media/106384/eib81_1_.pdf
- Laforest, J-P. (2015) Discussion au sujet de la reproduction porcine et des élevage intensif aux États-Unis et au Québec. Communication orale. Entrevue menée en personne par Justine Lacombe Bergeron avec Jean-Paul Laforest, Professeur-chercheur à la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, 25 septembre 2015, Québec, Qc.
- Larsen Poldberg, M. (1998). A practioner's guide to Iowa manure laws, manure regulations, and manure application agreements. In Drake University. In Agricultural law. In documents. <http://students.law.drake.edu/aglawjournal/docs/agVol03No2-Poldberg.pdf> (Page consultée le 20/02/2016)
- Lammer, P. J., Stender, D. R. and Honeyman, M. S. (2007). Niche Pork production. In Iowa pork production center. In Publications. <http://www.ipic.iastate.edu/publications/IPICNPP.pdf> (Page consultée le 05/10 2015).
- Latacz-Lohmann, U. et Hodge, I. (2003). European Agri-environmental Policy for the 21st Century. *Aust. J. Agric. Resour. Econ.* Vol. 47, no 1, p. 123-139.

- Levasseur, P. et Lemaire, N. (2006). États des lieux du traitement des lisiers de porcs en France. In Institut du porc – Recherche et développement.
<http://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/tp2006n1levasseur.pdf> (Page consultée le 02/04 2016)
- Lindgren, J. (2013). Challenges and incentives for sustainable manure management in Russia. Thèse de maîtrise en Science des sols, Swedish University in agricultural science, Suède, 49 p.
- Lory, J. A. et Massey, R. (2006). Using manure as a fertilizer for crop production. In EPA. In Water. In Our Waters. In Watersheds. In publications. In Symposium. In session 8.
http://water.epa.gov/type/watersheds/named/msbasin/upload/2006_8_25_msbasin_symposia_session8.pdf (Page consultée le 30/09 2015)
- Lopez-Ridaura, S., Van Der Werf, H., Paillat, J-M. et Le Bris, B. (2007). Transférer ou Traiter? Évaluation environnementale de deux modes de gestion du lisier excédentaire par Analyse de Cycle de Vie. Journées Recherche Porcine, 39, 7-12. 6p.
- Lovell, S.T., Sullivan W. C. (2005). Environmental benefits of conservation buffers in the United States: Evidence, promise, and open questions, Agriculture, Ecosystems and Environment, 112: 249-260.
- Lowe, M. et Gereffi, G. (2008). A Value Chain Analysis of the U.S. Pork Industry Report Prepared for Environmental Defense Fund. In Center on globalization, governance and competitiveness.
http://www.researchgate.net/publication/237307981_A_Value_Chain_Analysis_of_the_U_S_Pork_Industry_Report_Prepared_for_Environmental_Defense_Fund (page consultée le 06/10 2015)
- Mallin, M. A. (2000). Impacts of industrial-scale swine and poultry production on rivers and estuaries. Am Sci., vol. 88, p. 26–37.
- Mazé, J., Melec, D. et Théobald, O. (1996). Le compostage du lisier de porc sur différents supports carbonés et selon deux modes d'aération. In Journée de recherche porcine.
<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1996/96txtLog/L9608.pdf> (Page consultée le 01/04 2016)
- Medinger, E. (2001). Introduction to U.S. Environmental Law – The Clean Water Act : United States v. Smithfield Foods Inc. In Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. In Law.
<http://web2.law.buffalo.edu/faculty/meidinger/smithfield.htm> (Page consultée le 28/01 2016)
- Merkel, M. M. (2006). EPA and state failures to regulate CAFOs under federal environmental laws. In National Commission on Industrial Farm Animal Production Meeting. (p. 1-11) 11 septembre, Washington D.C.
- Missouri Court of Appeals. (2011). John OWENS, et al., Respondents, v. CONTIGROUP COMPANIES, INC. In Find Law. <http://caselaw.findlaw.com/mo-court-of-appeals/1561516.html> (Page consultée le 08/02 2016)

- Moletta, R. (2003). Le Biogaz à la ferme. In Moletta méthanisation. <http://moletta-methanisation.fr/textes/Traitementalaferme.pdf> (Page consultée le 15/03 2016)
- National Hog Farmer. (2011). State of the pork industry. http://nationalhogfarmer.com/site-files/nationalhogfarmer.com/files/archive/nationalhogfarmer.com/images/NHF_SOIRReport__2011.pdf (Page consultée le 06/10 2015)
- National Pork Board. (2014). Quick Facts – The Pork Industry at a glance. In Pork Checkoff. In News. In Quick fact. <http://www.extension.umn.edu/youth/mn4-H/events/project-bowl/docs/pb-gl-Quick-Facts-The-Pork-Industry-at-a-Glance.pdf> (Page consultée le 30/09 2015)
- National Pork producers Council. (2013). Pork Facts. In National Pork producers Council. In Pork Facts. <http://www.nppc.org/pork-facts/> (Page consultée le 05/10 2015)
- Natural resources conservation service. (2013). Conservation practice standard - Nutrient management. Code 590.
- Nicole, W. (2013). CAFOs and environmental justice: the Case of North Carolina. Environmental health perspectives, vol. 121, No 6, p. 182- 190.
- Nitrawal. (2015). Le programme de gestion durable de l’azote en agriculture. In Nitrawal. http://www.nitrawal.be/upload_files/telechargements/feuillePGDAIII.pdf (Page consultée le 5/02 2016)
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2008), La performance environnementale de l’agriculture dans les pays de l’OCDE depuis 1990, Paris, France, www.oecd.org/tad/env/indicateurs
- Parent, D. (2015). Discussion au sujet de l’acceptabilité sociale des opérations porcines aux États-Unis et au Québec. Communication orale. Entrevue menée en personne par Justine Lacombe Bergeron avec Diane Parent, Professeur-chercheur à la Faculté des sciences de l’agriculture et de l’alimentation, Université Laval, 24 septembre 2015, Québec, Qc.
- Pavilonis, B. T., Sanderson, W. T., et Merchant, J. A. (2013). Relative exposure to swine animal feeding operations and childhood asthma prevalence in an agricultural cohort. Environ Res., vol 122, p. 74-80.
- Peach, S. (2014). What to Do About Pig Poop? North Carolina Fights a Rising Tide. In National Geographic. In news. <http://news.nationalgeographic.com/2015/05/150524-pig-hog-pork-animals-farming-animal-cruelty-ngbooktalk/> (Page consultée le 20/04 2016)
- Peterka, A. (2014). Air pollution: EPA study of CAFO emissions grinds on with no end in sight. In E&E Publishing LLC. <http://www.eenews.net/stories/1060001938> (Page consultée le 01/04 2016)
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M. et Wolfe, B. (2004). Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. Bioscience, vol. 54, no. 10, p. 909-918
- Plummer, B. (2014). The \$956 billion farm bill, in one graph. The Washington post. 28 janvier, p. 7.

- Polh, S. (2013). Swine Manure Systems and Handling Issue. In Extension agriculture – South Dakota University. <http://fr.slideshare.net/trufflemedia/dr-steve-pohl-swine-manure-systems-and-handling-issues> (Page consultée le 23/01 2016)
- Proctor, S. (2010). Premium Standard Farms ordered to pay another \$11 million. In University of Missouri Extension. In Commercial agriculture Program. <http://agebb.missouri.edu/commag/news/archives/v19n2/news13.htm> (Page consultée le 08/02 2016)
- Québec. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). (2005). Bonnes pratique agroenvironnementales pour votre entreprise agricole. In MAPAQ. In Documents. In agroenvironnement. In Bonnes pratiques. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Agroenvironnement/BonnesPratiques2005.pdf>
- Québec. Ministère du développement durable de l'environnement et de la lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (2003). Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec. Direction des politiques du secteur agricole. MDDELCC. 143 pages.
- Raven, R. P. and Gregersen, K.H. (2007). Biogas plant in Denmark: Successes and Setback. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, n°1, p. 116-132.
- Randall, G. W., Schmitt, M. A. et Schmidt, J. P. (1999). Corn Production as Affected by Time and Rate of Manure Application and Nitrapyrin. Agronomy journal, vol. 12, no. 2, p. 317-323.
- Ribaud, M. (2015) Discussion au sujet des impacts des productions porcines sur l'environnement aux États-Unis. Communication orale. Entrevue menée au téléphone par Justine Lacombe Bergeron avec Marc Ribaud, Économiste agricole sénior, pour la branche ... de la division ... de la USDA. 5 décembre 2015.
- Ribaud, M., Delgado, J., Hansen, L., Livingston, M., Mosheim, R et Williamson, J. (2011). Nitrogen in Agricultural Systems: Implications For Conservation Policy. In United States Department of Agriculture. In Publications. In Economic Information Bulletin. <http://www.ers.usda.gov/media/117596/err127.pdf>
- Robert, P .C., Rust, R. H. et Larson W.E. (2005). Specific crop Management, A Workshop on Research and Developments issues. In American society of agronomy. In Publications
- Robertson, S. C. (1999). State Permitting: United States v. Smithfield Foods, Inc. and Federal Overfiling Under the Clean Water Act. William & Mary Environmental Law and Policy Review. Vol. 23, No 2, 593-615.
- Sasseville, J-L., Dutil, C., Banton, O., Drolet, J-Y, Nolet, J., Gagné, G., Dutil, J-P. et Lavoie, S. (1994). L'évaluation des technologies de gestion du lisier de porcs dans le cadre de l'établissement d'une politique de contrôle de la pollution provenant des productions animales. Volume 5.

- Scarborough, P., Appleby, P. N., Mizdrak, A. et Briggs, A. (2014). Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Climatic Change*, vol. 125, no 2, p.179-192.
- Schinasi, L., Horton, R. A., Guidry, V. T., Wing, S., Marshall, S. W. et Morland, K. B. (2011). Air pollution, lung function, and physical symptoms in communities near concentrated Swine feeding operations. *Epidemiology*, vol. 22, no. 2, p. 208-215.
- Schlosser, E. (2001). *Fast Food Nation: The Dark Side of the All-American Meal*. Houghton Mifflin Harcourt. Boston, Massachusetts. 368 p.
- Shortle, J. S., Ribaud, M., Horan, R. D. et Blandford, D. (2012). *Reforming Agricultural Nonpoint Pollution Policy in an Increasingly. Budget-Constrained Environment*
- Seely, R. (2014). Manure Spraying under scrutiny. In *Wisconsin Watch*.
<http://wisconsinwatch.org/2014/04/manure-spraying-under-scrutiny/> (Page consultée le 16/09 2015)
- Seydoux, S, Côté, D., Grenier, M. et Comité technique - porc. (2005) Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des déjections animales liquides en chaudière-appalaches. Rapport scientifique à l'attention de la Fédération de l'UPA de la Beauce. In IRDA. In publications.
http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/seydoux-et-al-2006_rapport_caracterisation_dejections_liquides_ch-app.pdf (Page consulté le 01/11 2015)
- Sierra Club. (2015). CAFO facts. In Sierra Club. In Michigan Chapter. In Issues.
<http://www.sierraclub.org/michigan/cafo-facts#regulated> (Page consulté le 01/04 2016)
- Simmet, A. (2015). Roeslein halfway done with first phase of massive AD project. In *Biomass magazine*. In Biogas. <http://biomassmagazine.com/articles/12537/roeslein-halfway-done-with-first-phase-of-massive-ad-project> (Page consultée le 20/03 2016)
- Singer, J., Kaspar, T. et Pedersen, P. (1999). Small grain cover crops for corn and soy bean. In *Midwest Cover Crops Council*. In Extension material.
http://www.mccc.msu.edu/extension_material.html (Page consultée le 23/01 2016)
- Singer, J. et Pedersen, P. (2005). Legume Living Mulches in Corn Soybean. In *Midwest Cover Crops Council*. In Extension material http://www.mccc.msu.edu/extension_material.html (Page consultée le 23/01 2016)
- Smith, B. et Chastain, J. P. (2002). Irrigation application calibration methods. In *Clemson University*. In Cooperative Extension. In *Livestock and forage*. In CAMM, In swine training manual. In chapter 6a.
https://www.clemson.edu/extension/livestock/camm/camm_files/swine/sch6a_03.pdf (Page consultée le 28/10 2015)
- Sneeringer, S. (2009). Does Animal Feeding Operation Pollution Hurt Public Health? A National Longitudinal Study of Health Externalities Identified by Geographic Shifts in Livestock Production. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 91, no. 1, p. 124-137.

- Speir, J., Bowden, M., Ervin, D., McElfish, J., Pérez Espejo, R., Whitehouse, T. et Carpentier, C. L. (2003). Normes canadiennes, mexicaines et américaines applicables aux exploitations d'élevage intensif : une analyse comparative. Cowansville (Québec), Y. Blais Éditeur, 202 p.
- Steinfeld, H., Mooney, H. A., Schneider, F. et Neville, L. E. (2010). Livestock in a Changing Landscape, Volume 1 - Drivers, consequences, and responses. États-Unis. Island Press, 1 édition. 416 p.
- Stokstad, E. (2008). Dueling visions for a hungry world. *Science*, vol. 319, p. 1474–1476
- Stuart, T. (2009). *Waste - uncovering the global food scandal*. Penguin Books: London, 480 p.
- Sturgis, S. (2014). NC hog farm threatened with citizen lawsuit over water pollution. In Institute for Southern studies. <http://www.southernstudies.org/2014/01/nc-hog-farm-threatened-with-citizen-lawsuit-over-w.html> (Page consultée le 08/10 2016)
- Thicke, F. (2014). Analysis of Research on Application of Manure to Soybeans. In Sierra Club. In Files. In SCE. In Iowa Chapter. In Agriculture – CAFO. <http://www.sierraclub.org/sites/www.sierraclub.org/files/sce/iowa-chapter/Ag-CAFOs/MOS-ThickeAnalysis.pdf> (Page consultée le 24/02/2016)
- Tremblay, G et Breault, J. (2015). Fertilisation azotée du maïs-grain: démystification, planification et projet SCAN. In MAPAQ. In Région Lanaudière. In Journées agricoles. <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/LavalLanaudiere/Journeesagricoles2015/10h45GillesTremblayetJulie%20Breault.pdf> (Page consultée le 25/03 2016)
- Turner, R.E. et Rabalais, N.N. (2003). Linking landscape and water quality in the Mississippi River Basin for 200 years. *BioScience* 53 (6), 563–572.
- Union québécoise pour la conservation de la nature (UQCN). 2004. Malgré le moratoire, l'intensification de la production porcine se poursuit dans les régions dites en surplus de lisiers. Communiqué de presse. 11 juin.
- United Nation Environmental Program (UNEP) (2013). Natural capital at risk: The top 100 externalities of business. In Trucost. In Published Research. http://www.trucost.com/_uploads/publishedResearch/TEEB%20Final%20Report%20%20web%20SPv2.pdf (Page consultée le 05/04 2016)
- United States Court of Appeals. (2011). National Pork Producers council v. EPA. In EPA. <http://www.faegeb.com/webfiles/NPPC%20v%20EPA.pdf> (page consultée le 20/02 2016)
- United States Department of Agriculture (USDA). (2005). Managing Manure To Improve Air and Water Quality. In USDA. <http://www.ers.usda.gov/media/851714/err9.pdf> (Page consultée le 20/04 2016)
- United States Department of Agriculture (USDA). (2009). Manure use for fertilizer and for energy – Report to Congress. In Publications. In Administrative publications.

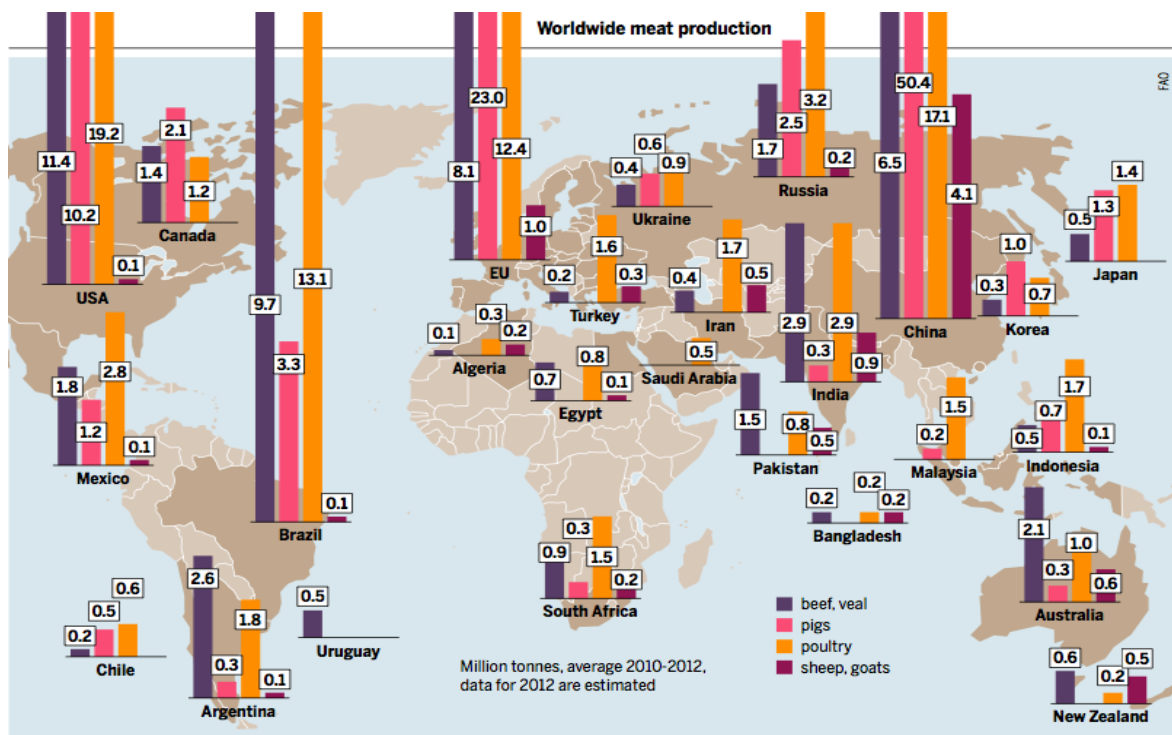
- <http://www.ers.usda.gov/publications/ap-administrative-publication/ap-037.aspx> (Page consultée le 22/02/2016)
- United States Department of Agriculture (USDA). (2014). 2012 Census Highlights. Hog and Pig Farming - A \$ 22.5 billion industry, up 25 percent since 2007. In Publications. In 2012. In Online resources. In Highlights. In Hog and pig farming. http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2012/Online_Resources/Highlights/Hog_and_Pig_Farming/ (Page consultée le 05/10 2015)
- United States Department of Agriculture (USDA). (2015b). Summary Report: 2012 National Resources Inventory. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2016). Quarterly Hogs and Pigs report. In USDA. In Home. In Survey. In Guide to NASS survey. In Hogs and pigs. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/HogsPigs/HogsPigs-03-25-2016.pdf> (Consultée le 01/05 2016)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2002). Manure Managing with Biogas Recovery Systems – Improved Performance at Competitive Cost. In AgSTAR Program. <http://www.epa.gov/agstar/resources.html> (Page consultée le 03/03 2016).
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2003). National Pollutant Discharge Elimination System Permit Regulation and Effluent Limitation Guidelines and Standards for Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs); Final Rule. <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2003-02-12/pdf/03-3074.pdf> (Page consultée le 23/11 2015)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2007). Guide to Anaerobic Digester. In AgSTAR Program. <http://www.epa.gov/agstar/operational.html> (Page consultée le 25/05 2016).
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2011). Region 4 Should Strengthen Oversight of Georgia's Concentrated Animal Feeding Operation Program. In EPA. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/20110623-11-p-0274.pdf> (Page consultée le 10/05 2016)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2012). Protocols for land application manure nutrients. In EPA. In Water. In Pollution control. In NPDES. In Animal feeding operations. In NPDES Permit writers' Manual for Concentrated Animal Feeding operations. In Chapter 6. http://water.epa.gov/polwaste/npdes/afo/upload/cafo_permitmanual_chapter6.pdf (Page consultée le 25/10 2015)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2013). Literature Review of Contaminants in Livestock and Poultry Manure and Implications for Water Quality. In EPA. <http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/P100H2NI.PDF?Dockey=P100H2NI.PDF> (Page consultée le 20/04 2016)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2015a). Agriculture : Ag101. In Agriculture. http://www2.epa.gov/sites/production/files/201507/documents/ag_101_agriculture_us_epa_0.pdf (Page consultée le 05/10 2015)

- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2015b). Clean Air Act and animal feeding operations. In EPA. In Agriculture : Animal Production. <https://www.epa.gov/agriculture/agriculture-animal-production#CAA> (Page consultée le 03/04 2016)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2015c) AgSTAR program de l'EPA. <http://www.epa.gov/agstar/> (Page consultée le 08/03 2016).
- United States Environmental Protection Agency Climate Leaders (EPA Climate Leaders). (2006). Project Type: Managing Manure with Recovery Systems. Draft Offset Protocol, 21p.
- United States Geological Survey. (2015). Surface-Water Quality in Agricultural Watersheds of the North Carolina Coastal Plain Associated with Concentrated Animal Feeding Operations. <http://pubs.usgs.gov/sir/2015/5080/pdf/sir2015-5080.pdf> (Page consultée le 21/04 2016)
- United States Government Accountability Office (USGAO). (2008). Concentrated animal feeding operations : EPA Needs More Information and a Clearly Defined Strategy to Protect Air and Water Quality from Pollutants of Concern. In United States Government Accountability Office. Reports and testimonies. <http://www.gao.gov/products/GAO-08-944>
- van Es, H. S., Schindelbeck, R. R. et Jokela, W. E. (2004). Effect of Manure Application Timing, Crop, and Soil Type on Phosphorus Leaching. *Journal of Environmental Qualities*, vol. 33, p.1070-1080.
- Voegele, E. (2014). USDA, DOE and EPA release Biogas Opportunities Roadmap. In *Biomasse Magazine*. In Biogas. <http://biomassmagazine.com/articles/10761/usda-doe-and-epa-release-biogas-opportunities-roadmap> (Page consultée le 21/03 2016)
- Vojtech, V. (2010). Policy measures for addressing agri-environmental issue. Organization for economic cooperation and development food; Agriculture, and Fisheries Working Paper no 21
- Watts, J. (2010). Chinese farms cause more pollution than factories, says official survey. *The Guardian*. 9 février, p.13.
- Waste no energy. (2015). Waste no energy – What we do. In Waste no energy. <http://www.wastenoenergyllc.com/anaerobic-digester-indiana-midwest/> (Page consultée le 29/03 2016)
- Wing, S., Freedman S. et Band, L. (2002) The potential impact of flooding on confined animal feeding operations in eastern North Carolina. *Environ Health Perspect.*, vol 110, p. 387-391.
- Wing, S., Horton, R. A. et Rose, K. M. (2013). Air Pollution from Industrial Swine Operations and Blood Pressure of Neighboring Residents. *Environ. Health Perspect.*, vol. 121, p. 92-96.
- Wing, S. et Johnston, J. (2014). Industrial Hog Operations in North Carolina Disproportionately Impact African-Americans, Hispanics and American Indians. In *North Carolina Policy*

- Watch. In University of North Carolina. <http://www.ncpolicywatch.com/wp-content/uploads/2014/09/UNC-Report.pdf> (Page consultée le 15/04 2016)
- Wise, T. A. et Trist, S. A. (2010). Buyer Power in U.S. Hog Markets: A Critical Review of the Literature. In Tufts University. In Global development and environment institute. <http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/10-04HogBuyerPower.pdf> (Page consultée le 05/10 2015)
- Zaimes, G.N., Schultz, R.C., Isenhardt, R.M. (2004). Stream bank erosion adjacent to riparian forest buffers, row-crop fields, and continuously- grazed pastures along Bear Creek in central Iowa. *J. Soil Water Conserv.* 59 (1), 19–27.
- Zhou D. et Koemle, D. (2015). Price Transmission in Hog and Feed Markets of China. *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 14, no 6, p. 1122-1129.
- Zhou Y., Zhang, X., Tian, X., Geng, X., Zhang, P., Zhang, P. et Yan, B. (2015). Technical and Environmental Efficiency of Hog Production in China. *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 14, no 6, p. 1169-1180.

ANNEXE 1 – QUANTITÉ DE DIFFÉRENTS TYPES DE VIANDES PRODUITS PAR PAYS

Tiré de Chemnitz et Becheva, 2014



ANNEXE 2 - PRODUCTION ET CARACTÉRISTIQUES STANDARDS DES DÉJECTIONS ANIMALES

Tiré de American Society of Agricultural and Biological Engineers (2005)

Estimation des caractéristiques de lisier typique tel qu'excrété par le bétail

| Animal Type and Production Grouping | Total solids | Volatile solids ³ | COD ¹ | BOD ¹ | Nitrogen | P | K | Ca | Total Manure ² | | Moisture ³ | Assumed Finishing Time Period (days) |
|--|----------------------------|------------------------------|------------------|------------------|----------|-------|-------|----|---------------------------|------------------------|-----------------------|--|
| | lb/ finished animal (f.a.) | | | | | | | | lb/ f.a. | ft ³ / f.a. | % w.b. | |
| Beef - Finishing cattle | 780 | 640 | 670 | 150 | 55 | 7.3 | 38 | 17 | 9,800 | 160 | 92 | 153 |
| Poultry - Broiler | 2.8 | 2.1 | 2.3 | 0.66 | 0.12 | 0.035 | 0.068 | | 11 | 0.17 | 74 | 48 |
| Poultry - Turkey (male) | 20 | 16 | 19 | 5.2 | 1.2 | 0.36 | 0.57 | | 78 | 1.3 | 74 | 133 |
| Poultry - Turkey (females) | 9.8 | 7.8 | 8.8 | 2.4 | 0.57 | 0.16 | 0.25 | | 38 | 0.61 | 74 | 105 |
| Poultry - Duck | 3.7 | 2.2 | 3.0 | 0.61 | 0.14 | 0.048 | 0.068 | | 14 | 0.23 | 74 | 39 |
| Swine - Nursery pig (27.5 lb) | 10 | 8.7 | 9.7 | 3.4 | 0.91 | 0.15 | 0.35 | | 87 | 1.4 | 90 | 36 |
| Swine - Grow-finish (154 lb) | 120 | 99 | 104 | 38 | 10 | 1.7 | 4.4 | | 1200 | 20 | 90 | 120 |

1. BOD – Biochemical oxygen demand, 5-day, COD – Chemical oxygen demand
2. Total manure is calculated from Total Solids and manure moisture content.
3. Excreted manure was assumed to have a specific gravity of 1.0 to calculate manure volume.

ANNEXE 3 - COMPARAISON DU LISIER DE PORCS ENTRE LES MÉTHODES D'ESTIMATION PASSÉES ET PRÉSENTES ET LES NOUVELLES TECHNOLOGIES ALIMENTAIRES VISANT À RÉDUIRE LES NUTRIMENTS

Tiré de American Society of Agricultural and Biological Engineers (2005)

| Source | Dry Matter Intake (lb) | % Crude Protein | % P | Dry Matter Digestibility (%) | Feed Efficiency (feed/ gain) and Days to Finish | Excretion (lb/finished animal) | | | Take Home Message |
|--|------------------------|-----------------|------|------------------------------|---|--------------------------------|-----|-----|---|
| | | | | | | N | P | TS | |
| Typical or Average Excretion | | | | | | | | | |
| A. New ASABE | 5.25 | 15.6 | 0.43 | 82 | 2.86 / 120 | 10.4 | 1.7 | 140 | Old standard overestimated P and TS excretion |
| B. Old ASAE | -- | -- | -- | -- | -- | 9.7 | 3.3 | 200 | |
| Low CP and P diets while all other assumptions remain constant | | | | | | | | | |
| C. New ASABE | 5.25 | 11.5 | 0.33 | 82 | 2.86 / 120 | 6.4 | 1.0 | 140 | Feed technologies reduce N & P |

ANNEXE 4 - DEVENIR DES EFFLUENTS PORCINS ET PERTES ASSOCIÉES À LEUR ENTREPOSAGE, MANUTENTION ET ÉPANDAGE

Adapté de Béline et autres, 2012

